

Jani Oikarinen

## **KIERRÄTYSPOLTTOAINEEN MEKAANISEN LAADUN PARANTAMINEN**

Insinöörityö  
Kajaanin ammattikorkeakoulu  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Kevät 2012



Koulutusala Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka
Tekijä(t) Jani Oikarinen	
Työn nimi Kierrätyspolttoaineen mekaanisen laadun parantaminen	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Kunnossapito Kaivannaistekniikka	Ohjaaja(t) Sanna Leinonen  Toimeksiantaja Kainuun jätehuollon kuntayhtymä
Aika Kevät 2012	Sivumäärä ja liitteet 45+4
<p>Tämän insinöörityön tavoitteena oli auttaa työn tilaajaa, Kainuun jätehuollon kuntayhtymää kierrätyspolttoaineen mekaanisen laadun parantamisessa. Kierrätyspolttoaineella tarkoitetaan tässä yhteydessä jätteistä valmistettua polttoainetta (jota tarkoitetaan myös kirjainlyhenteellä REF), joka tullaan polttamaan sopivassa voimalaitoksessa.</p> <p>Työn tavoitteina olivat laadunparantamisen lisäksi murskaukseen sekä seulontaan käytettävän prosessin optimointi. Optimoinnin lähtökohtana pidettiin sitä, että ensiksi täytyy opetella ja oppia ymmärtämään miten kierrätyspolttoaine käyttäytyy missäkin tilanteessa ja olomuodossa. Vasta sen jälkeen voidaan aloittaa varsinaisen prosessin parantaminen. Työn ohessa pyrittiin myös miettimään sekajätteen eri osasille mahdollisimman monta sovellusta, jossa sitä voitaisiin hyödyntää ja näin ollen kaatopaikkojen loppusijoitettavan jätteen osuus tulisi pienemmäksi.</p> <p>Tässä työssä seulottiin murskattua sekajätettä, jotta nähtäisiin, mitä se sisältää. Partikkelien jaottelu tapahtui silmämääräisesti. Jaottelulla pyrittiin saamaan selvyttä mm. sekajätteen sisältämistä eri jättejakeista. Seulonnan yhteydessä pyrittiin havainnoimaan myös seikkoja, joilla voisi olla vaikutusta myös varsinaisessa murskausprosessissa jättejakeiden seuloutuvuuteen. Tällaisia olivat mm. kosteuden ja partikkelikoon vaikutukset seuloutuvuuteen.</p> <p>Työssä opittiin ymmärtämään sekajätteen käyttäytymistä murskauksen ja seulonnan yhteydessä. Lisäksi saatiin suurin piirtein selville sen sisältämät jättejakeet ja löydettiin mahdollisia keinoja niiden poistamiseksi, jotta lopputuotteen laatu tulisi olemaan mahdollisimman korkealla. Näin ollen sekajätteeseen sekoitettavien seosaineiden määrä pysyy pienenä, josta seuraa taloudellista hyötyä.</p> <p>Laadun merkitys nykyisessä kaupankäynnissä korostuu entisestään. Niin myös kierrätyspolttoaineen laatu vaikuttaa suoraan asiakassuhteiden laatuun. Olipa kyseessä ostaja tai myyjä, niin laadukas kaupankäynnin kohde on molempien osapuolien etu ja molempia osapuolia tyydyttävä kauppa on helppo tehdä uudelleen. Laadun parantamisella tämän työn yhteydessä pyrittiin myös tähän.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Kierrätyspolttoaine, seulonta, optimointi
Säilytyspaikka	<input type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto



School School of Engineering	Degree Programme Maintenance and Production Engineering
Author(s) Jani Oikarinen	
Title Quality Provement of Recovered Fuel	
Optional Professional Studies Maintenance Mining Technology	Instructor(s) Ms. Sanna Leinonen, Senior Lecturer
	Commissioned by Kainuun jätehuollon kuntayhtymä
Date Spring 2012	Total Number of Pages and Appendices 45+4
<p>The purpose of this Bachelor`s thesis was to improve the quality of REcovered Fuel, REF. The commissioner of this thesis was Kainuun jätehuollon kuntayhtymä, the Municipal Waste Authority of Kainuu. REF is made from communal waste. Other topics that were studied in the thesis include learning how, for example, humidity influences the mechanical quality of REF. The topic of getting some financial profit to the company was also studied. Burning only REF decreases too much the level of smoke gases and that is another reason why some alloying elements such as energy waste and wood chips have to be used. If these two items can be sold one by one, the company can get a much better profit.</p> <p>The first stage was to find out what shattered communal waste includes. The analysis was made by eyes and hands. Simultaneously factors which could influence in the actual process were tried to perceive. It was also considered how communal waste could be made use of. Secondly, the waste was dried in the oven to find out how much humidity there is.</p> <p>In the results many features that affect in screening were found. Humidity is of great influence, but it was noticed that also smaller pieces of waste behave in a different way when compared with the bigger ones. During this thesis some useful factors that can be helpful in the real process were found out.</p> <p>The quality of a product is of major importance when making a purchasing decision. The buyer makes the decision based on the quality of the product. A buyer who is pleased with the product may buy it again. This is very common in present day marketing.</p>	
Language of Thesis      Finnish	
Keywords	Recovered fuel, screening, optimize
Deposited at	<input type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

## ALKUSANAT

Nykypäivänä vihreät arvot sekä kierrätys nousevat koko ajan enemmän ja enemmän esille. Lähes jokaisessa ostamassamme päivittäistavarassa kerrotaan, onko se valmistettu kierrätetävistä tai muuten hyödynnettävistä materiaaleista. Tutkimuksia sekä menetelmiä kehitetään jatkuvasti, ja näiden tarkoituksena on vähentää fossiilisten polttoaineiden sekä uusiutumattoman energian käyttöä. Olenkin erittäin ylpeä, että olen saanut olla tutkimassa ja tekemässä työtä, jonka johdosta kaatopaikkojen kuormitus tulee tulevaisuudessa pienentymään.

Kiitokset tässä työssä mukana olleille tahoille ja henkilöille, joiden ajatukset ja ideat ovat ohjanneet minua miettimään uusia näkökulmia ja tutkintasuuntia sekä menetelmiä koskien kierrätyspolttoaineiden valmistamista ja laadun parantamista. Kiitokset ohjaajalleni Esa Kumpulaiselle ja muille Kainuun Jätehuollon kuntayhtymän henkilökunnan jäsenille, jotka ovat minua työssäni auttaneet ja joiden kanssa olen saanut työskennellä hyvässä hengessä.

Työskentelyni aikana olen itsekin keskittynyt enemmän kierrättämiseen, koska olen konkreettisesti päässyt näkemään sen vaikutukset kokonaisuudessaan. Kierrättäminen on erittäin tärkeää ja tulevaisuudessa varmasti yhä useammat hyödykkeet pyritään hyöty käyttämään tarkemmin. Näin ollen pyritään vähentämään ympäristön kuormitusta.

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 INSINÖÖRITYÖN TAUSTA	2
2.1 Sekajätteen sijoitus ennen ja nyt	2
2.2 Käytetyt murskausmenetelmät	3
2.3 Jätelain muutos 2016	5
2.4 Polttomahdollisuus paikallisesti	6
2.5 Prosessioptimoinnin yleiset periaatteet ja vaikutukset	7
2.6 Tässä työssä suoritettut testaukset	8
3 SEKAJÄTTEEN MURSKAUS JA LAJITTELUKETJU	9
3.1 Kainuulainen sekajäte	9
3.1.1 Sekajätteen hyödyntäminen energiana Kainuussa	10
3.1.2 Majasaaren jätekeskus ja murskauksen tapahtumapaikka	10
3.2 Ulkopuolisen yrittäjän laitteisto	11
4 PROSESSISSA SYNTYNEET JAKEET	13
4.1 Seulonnan toteuttaminen	14
4.2 Näytteiden kuivaus	18
4.3 Kuivatun näytteen seulonta	20
4.4 Mahdollisimman suuri hyötykäyttöaste	27
4.4.1 Hyödyntämiskelpoinen jäte	27
4.4.2 Hyödyntämiskelvoton jäte	29
5 LAITTEISTON SEKÄ PROSESSIKETJUN OPTIMOINTI	30
5.1 Testit ja tulokset	33
5.2 Muutokset verrattuna ensimmäiseen seulontaan	38
5.3 REF II-laatuvaatimusten täyttyminen	39
6 TULOSTEN TARKASTELU	40
7 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	43

## LITTEET

## SYMBOLILUETTELO/KÄYTETYT TERMIT

Biojäte – Ruoan tähteet ja ruoan valmistuksessa syntyvä maatuva jäte.

Biohajoava jäte – Eloperäinen, orgaanisesti hajoava jäte ( biojäte, pahvi, paperi, puu).

Energiajäte – Jätteenpolttoon erikseen kerättävä palava jäte (puuta, muovia, likaista kartonkia yms.).

Kierrätyspolttoaine (engl. REF) – Jätteistä valmistettua polttoainetta (lyhennys REF tulee sanoista REcovered Fuel). Tavallisimmin REF-polttoainetta valmistetaan murskaamalla eriliskerättyä energiajätettä.

Loppusijoitus – Jätteen kaatopaikkasijoittaminen, läjittäminen. Jätteet, joita ei voida hyödyntää energiana eikä niitä voi kierrättää, päätyvät kaatopaikalle loppusijoitukseen.

Seulan alite – Seulottava aines, joka menee seulan läpi.

Seulan ylite – Seulottava aines, joka ei mene seulan läpi vaan ylittää sen.

Yhdyskuntajäte - Yhdyskuntajäte on tuotteiden loppukulutuksessa yhdyskunnissa syntyvää jätettä. Yhdyskuntajäte on tavallisesti sekajätettä, joka loppusijoitetaan kaatopaikoille.

# 1 JOHDANTO

Tämän insinöörityön aihe löytyi samasta yrityksestä, jossa suoritin insinööriopintoihini kuuluvan viisi kuukautta kestäneen käytännön työharjoittelun. Insinöörityö käsittelee Kainuun jätehuollon kuntayhtymän ylläpitämässä Majasaaren jätekeskuksessa sijaitsevan sekajätteen murskaus- ja seulontaketjun optimointia ja prosessista lopputuotteena saatavan kierrätyspoltoaineen laadun parantamista. Optimoinnilla voidaan vaikuttaa myös loppusijoitukseen menevän jätteen osuuteen testaamalla eri komponenttien vaikutusta ja merkitystä lopputuotteen seuloutuvuuteen. Tavoitteina tässä työssä olivat myös sekajätteen eri osasten mahdollisimman suuri hyötykäyttöaste sekä optimoinnilla saavutettava taloudellinen hyöty.

Kainuun jätehuollon kuntayhtymä, joka toimi tämän insinöörityön tilaajana (myöhemmin tässä insinöörityössä mainittu myös nimellä EkoKymppi), on perustettu vuonna 2001. Yrityksen toimintaperiaate on vastata Kainuun alueella jätelain velvoittamista asioista joiden järjestäminen kuuluisi muuten erikseen jokaiselle jäsenkunnalle. Tällaisia ovat mm. jätehuollon järjestäminen ja kehittäminen, tiedottaminen jätteenkäsittelyyn liittyvissä asioissa sekä viranomaistehtävät. Jäsenkuntina ovat Kainuun maakunnan kunnat, Hyrynsalmi, Kajaani, Kuhmo, Paltamo, Puolanka, Ristijärvi, Sotkamo, Suomussalmi ja Vaala. Eko-Kympin toiminta-alueella asui vuonna 2010 runsaat 82000 ihmistä [1.]

Tämän raportin kohdissa 1, 2 ja 3 keskitytään teoriaan ja kerrotaan, miksi tämän työn tekeminen tuli aiheelliseksi. Kohdissa 4 ja 5 tulee ilmi tämän insinöörityön kokeellinen osuus, jossa mm. analysoidaan energiajakeen materiaalipohjaa ja seikkoja, jotka vaikuttavat jätejakeiden seuloutuvuuteen.



## 2 INSINÖÖRITYÖN TAUSTA

Viimeisten 20 vuoden aikana kaatopaikkojen säädökset jätteen käsittelystä sekä jätelaki yleisesti ovat muuttuneet rajusti. Ennen lajittelua ei ollut lainkaan tai korkeintaan hyvin vähän ja kaatopaikoille sai viedä mitä tahansa. Jättemäärät olivat suuria ja tutkimukset kaatopaikkojen vaikutuksista lähiympäristöön hyvin pieniä. Tuskin kovinkaan moni ajatteli, että suuri osa kaatopaikoille silloin menneistä jätteistä olisi ollut hyödynnettävissä. Vähitellen asetukset ja ihmisten ajatukset ovat kuitenkin muuttuneet positiivisempaan suuntaan kuluttamisen vähentämisen suhteen ja kierrättämiseen on alettu suhtautua vakavammin. Vuonna 2016 voimaan astuu uusi EY-direktiivin johdosta valmistettu kansallinen strategia. Siinä määritellään loppusijoitukseen menevän biohajoavan jätteen enimmäismäärä, joka on huomattavasti vähemmän kuin nykyisin voimassa oleva enimmäismäärä, joka pohjautuu vuoden 1994 jätelakiin.

Vuonna 2016 voimaan astuvan direktiivin johdosta Kainuun jätehuollon kuntayhtymä alkaa valmistaa sekajätteestä kierrätyspolttoainetta. Näin kaatopaikalla loppusijoitukseen menevän biohajoavan jätteen osuus tullaan saamaan uuden jätedirektiivin vaatimalle tasolle. Lisäksi voimalaitoksissa poltettavan, puusta, metsähakkeesta yms. valmistetun polttoaineen määrä tulee pienenemään suhteessa käytettävän kierrätyspolttoaineen määrään. Näiden seikkojen johdosta saadaan säästettyä uusiutumattomia tai hitaasti uusiutuvia luonnonvaroja.

### 2.1 Sekajätteen sijoitus ennen ja nyt

Ennen 1900-lukua ihmiset elivät yhteiskunnissa, joissa ei tarvittu kaatopaikkoja. Jätettä syntyi hyvin pieniä määriä, ja suurin osa siitä oli luonteeltaan biohajoavaa. Talojen liepeillä olevat tunkiot riittivät hoitamaan jätteet pois ihmisten silmistä. Kaatopaikkoja ei ollut, sillä niitä ei tarvittu. Tavarat ja varusteet käytettiin loppuun asti, ja kierrättäminen oli tavaroiden saatavuuden vaikeuksista johtuen hyvin tarkkaa.

Tultaessa 1950-luvulle alkoivat teollistuvan maailman vaikutukset näkyä vahvemmin. Kaupungeissa alettiin jo puhua jäteongelmista, ja siellä tarvittiin jo suuria kaatopaikkoja. Myös maaseuduilla alettiin esittää tarpeita kaatopaikoille. Loppusijoitus- eli kaatopaikan perustaminen oli kuntien vastuulla ilman kovinkaan suuria velvoitteita tai seurantoja kaatopaikkojen

vaikutuksista ja yleensä siihen valjastettiin jokin joutomaa-alue, jolle kunnalla ei ollut muuta käyttöä. Loppusijoitusalueilla ei ollut minkäänlaista valvontaa, ja sinne tuotiin aivan mitä tahansa. Nykypäivänä monet näistä jätteistä luokitellaan ongelmajätteiksi. [2.]

Kaatopaikkoja ja niille tulevia kuormia alettiin valvoa vasta vuonna 1978, jolloin silloinen jätelaki antoi määräyksen ryhtyä valvomaan kaatopaikoille tulevia ja sijoitettavia jätteitä. Kaatopaikoille tuotaviin jätteisiin ei edelleenkään kiinnitetty vielä suurta huomiota kuin ongelmajätteiden osalta. Vasta 1.1.1994 voimaan tullut jätelaki antoi vastuun yhdyskuntajätehuollon järjestämiseksi kunnille.[3.] Vuonna 1997 valtioneuvosto antoi uuden säädöksen kaatopaikoista ja niillä järjestettävistä toimenpiteistä, jos niillä aiotaan järjestää jätteiden vastaanottoa sekä loppusijoitusta [4].

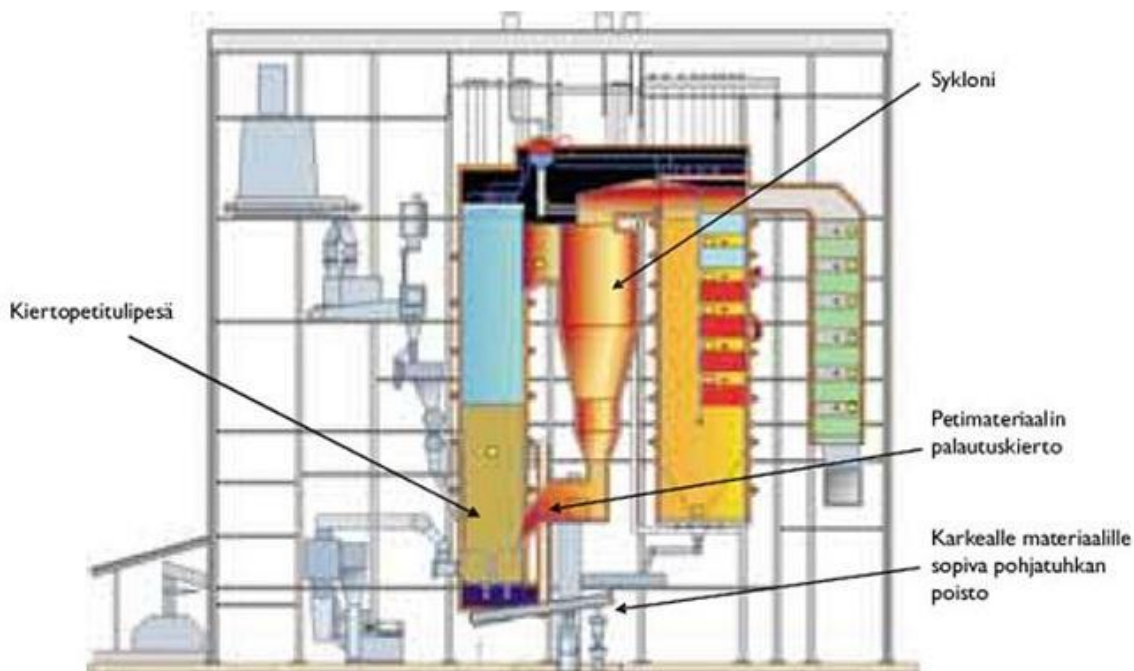
Kiristyvien säädösten ja uusien vesienkäsittelyohjeiden yms. tavoitteiden myötä kuntien omat kaatopaikat alkoivat vähentyä tultaessa 2000-luvulle. Kaatopaikat ja jätevirrat alkoivat keskittyä maakuntien keskuksiin ja niissä toimiviin suurempiin jätteenkäsittelylaitoksiin. Samoihin aikoihin kuntien yhteisesti perustamat jätehuoltoyritykset alkoivat yleistyä läpi Suomen. Näiden alueellisten jätehuoltoyritysten tehtävänä on vastata jäsenkunnille kuuluvista jätehuollon velvoitteista.

## 2.2 Käytetyt murskausmenetelmät

Tässä osiossa kerrotaan sekajätteen murskauksesta sekä siihen soveltuvista laitteistoista ja mahdollisista polttolaitoksista ja menetelmistä, joissa kierrätyspolttoainetta voi käyttää.

Sekajätteen, tai yleisesti jätteiden murskauksen laitteistoa tarkasteltaessa tulee lähteä siitä, millaisia ominaisuuksia murskatun sekä lajitellun jätteen vastaanottaja tuotteelta edellyttää. Tämä taas riippuu siitä, mihin murskatun jätteen vastaanottaja aikoo jätettä hyödyntää tai käyttää. Käyttäjän vaatiessa jätėjakeilta esimerkiksi pienempää palakokoa, niin jätettä ei voida hyödyntää suoraan siinä muodossa kuin se tulee kaatopaikalle. Ensimmäisenä jäte tulee murskata pienempään palakokoon. Jos jätettä aiotaan polttaa, niin murskattavan jätteen palakoko riippuu käytettävästä polttomenetelmästä. Esimerkiksi leijutuspetikattila polttomenetelmänä ei ole välttämättä niin tarkka käytettävän polttoaineen laadusta, mutta vastaavasti käytettävän polttoaineen palakoon tulee olla niin pieni, että leijutuspetikattilassa käytettävä polttotekniikka, leijutus, onnistuu. Näin saadaan tulipesässä oleva polttoaineiden ja sidosaineiden sekoitus

leijumaan. Palaminen tapahtuu näin muodostuvassa ”pedissä” [5, s. 31]. Kiertopetikattilan/leijupetikattilan toimintaperiaate on esitetty alla kuvassa 1.



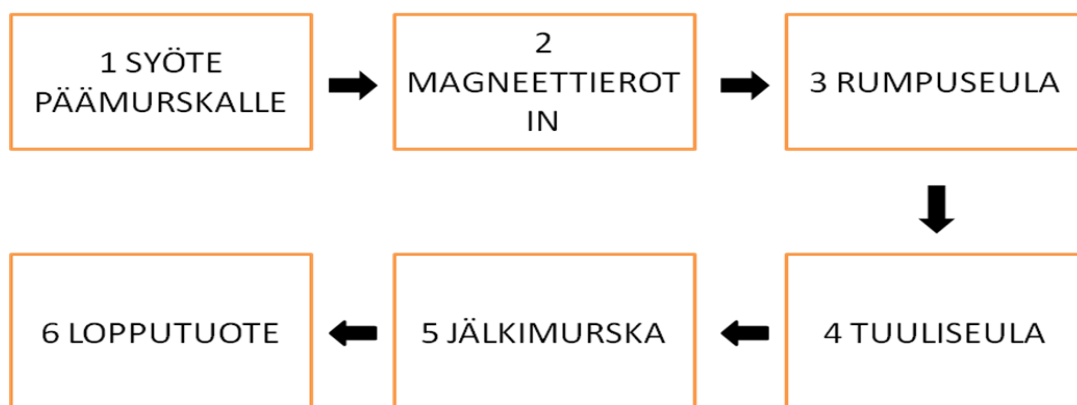
Kuva 1. Kiertopeti/leijupetikattilan toimintaperiaate. [5, s. 33.]

Leijupetikattilan ominaisuuksista voidaan mainita myös sen soveltuminen lähes kaikille kiinteässä muodossa oleville polttoaineille [6]. Suomessa muita käytettyjä polttomenetelmiä biopolttoaineiden hyödyntämiselle ovat poltto arinakattilassa ja kaasutuspoltto.

Sekajätteen sisältäessä paljon muoveja sekä muita venyviä ja sitkeitä materiaaleja, tarvitaan sopivan palakoon saavuttamiseksi repijätela-tyyppistä päämurskainta. Repijämurskaimen toimintaperiaatteena on jätteen kulkeutuminen pyörivien vastinterien väliin, jolloin sitkeäkin jätejake hienonee pienemmäksi. Suomessa tähän tarkoitukseen olevia murskaimia valmistaa mm. TANA Oy Vaajakoskelta, jonka repijämurskaimesta saatavan lopputuotteen palakoon valmistaja ilmoittaa olevan väliltä 50 -500 mm, riippuen murskassa käytettyjen seulojen reikäkoosta [7].

Tällaisesta murskaimesta saatavan lopputuotteen ollessa vielä riittämätön käyttäjän tarpeisiin johtuen esim. epäpuhtauksista jätteen seassa tai liian suuresta palakoosta, voidaan murskausketjussa käyttää esimerkiksi sekundäärimurskaa, jolloin lopputuotteen palakokoa saadaan pienennettyä. Mikäli lopputuotteesta halutaan vielä laadukkaampaa ja puhtaampaa, murskaus- ja lajitteluketjuun voidaan lisätä esim. magneettierotin, jossa magneettiset metallit erotel-

laan tuotteen seasta. Seuraavaksi murskausketjussa voi olla rumpuseula, jossa murskattu jäte erotellaan palakoon perusteella. Rumpuseulan jälkeen tulee mahdollisesti olemaan tuuliseula, jonka tehtävänä on erotella kevyt, mahdollisesti poltettavaksi menevä jätejake raskaammista jätejakeista. Tällainen kevyt jätejake voi sisältää mm. muoveja sekä paperia, ja raskaampaan jätejakeeseen voidaan luokitella mm. ruoantähteet eli biojäte, jota ei ole vielä saatu seulottua pois lopputuotteen seasta. Prosessikaavio tämäntyyppisestä murskaus- ja seulontaprosessista on esitetty alla kuvassa 2. Tällaista murskaus- ja lajitteluketjua käyttää esim. Kuopion alueella sekajätteen murskausta harjoittava Jätekuikko Oy. [8, s. 33.] Kuvan 2 prosessikaavion tapahtumien edellä olevat numerot on merkitty Liitteessä 2 olevaan ilmakehuun Majasaaren murskausprosessista. Näin tapahtumien hahmottaminen on helpompaa.



Kuva 2. Prosessikaavio, jossa esitetty yleinen jätteenmurskauksen prosessikaavio.

### 2.3 Jätelain muutos 2016

Vuosien 2006 - 2016 välillä biohajoavan jätteen sijoitusta kaatopaikalle pyritään vähentämään siten, että vuonna 2016 kaatopaikoille voidaan loppusijoittaa enintään 35 % biohajoavaa jätettä laskettuna vuoden 1994 määrästä. Silloin voimaan astuu EY:n kaatopaikkadirektiivin edellyttämä kansallinen strategia, jonka tarkoituksena on vähentää kaatopaikoille sijoitettavan biohajoavan jätteen määrää. Käytännössä tämä tulee tarkoittamaan sitä, että vuonna 2016 kaatopaikoille saadaan loppusijoittaa biohajoavaa jätettä enää 25 % siitä määrästä, joka arvioidaan tuolloin syntyvän.[9.]

## 2.4 Polttomahdollisuus paikallisesti

EkoKymppi sai aikaisemmin suorittamissaan sekajätteen koepolttotesteissä sellaisia tuloksia, että kierrätyspolttoainetta voitaisiin polttaa myös isommissa voimalaitoksissa. Tämä oli eräs syy, miksi EkoKymppi alkoi miettiä sekajätteestä valmistettavan kierrätyspolttoaineen valmistamista. Kierrätyspolttoaineen polttaminen vaatii vain sen, että polttoaineen laatu on voimalaitoksen edellyttämällä tasolla, jotta palamisessa muodostuvat savukaasujen eri hiukaspitoisuudet saadaan pysymään riittävän alhaalla. Jotta haluttuun laatuun päästään, tulee murskattuun ja lajiteltuun sekajätteeseen sekoittaa tarvittava määrä erilliskerätystä energiajätteestä valmistettua polttoainetta, sekä myös erillismurskatusta puusta valmistettua haketta.

Tarkemmat vastaanottajan määräämät laatuvaatimukset REF II-kierrätyspolttoaineelle löytyvät myöhemmin tästä raportista, ja ne tulevat täydellisinä ilmi standardissa SFS 5875 (liite 1). Standardin SFS 5875 asettamat kuiva-ainepitoisuudet kierrätyspolttoaineen laatua määriteltäessä löytyvät liitteestä 1.

Sekajätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen pääasiallinen vastaanottaja tulee olemaan Kajaanissa toimiva Kainuun Voima Oy. Kainuun Voima on lupautunut vastaanottamaan kierrätyspolttoainetta, jos sille toimitetun polttoaineen laatu on tarpeeksi korkealla tasolla. Kierrätyspolttoainetta kutsutaan nimillä REF I, REF II tai REF III, ja nimi määräytyy polttoaineen laadun mukaan siten, että REF I on laadullisesti paras. Kuten tässä raportissa on jo aikaisemmin mainittu, Eko-Kympin tarkoituksena on valmistaa kierrätyspolttoainetta, joka vastaa laadultaan tasoa REF II. Kainuun Voima Oy, polttoaineen pääasiallisena vastaanottajana, on määritellyt lisäksi REF-polttaineelle omat lisävaatimuksensa;

- polttoaineen suurin partikkelikoko,  $95 \% < 85 \text{ mm}$
- polttoaines ei saa sisältää metalliesineitä, pitkiä tikkuja tai pakkausnauhoja
- kuiva-aineen klooripitoisuus (Cl) alle 0,5 painoprosenttia

Murskausta harjoittava urakoitsija on omalta osaltaan vastuussa siitä, että polttoaineelle sen vastaanottajan toimesta asettamat lisävaatimukset täyttyvät standardin SFS 5875 vaatimusten lisäksi. EkoKymppi vastaa hyödyntämispaikkaan toimitettavan, valmiin jo erilliskerätyllä energiajätteellä ja puuhakkeella sekoitetun kierrätyspolttoaineen laadusta, toimituserittäin erilaisilla ominaisuusanalyysillä. [10.] Käytännössä nämä tarkoittavat pienien koe-erien läh-

tämistä koepoltettaviksi. Standardissa SFS 5875 ilmenevät määritelmät kierrätyspolttoaineen laadulle, ja määräävinä tekijöinä standardissa on käytetty polttoaineen sisältämiä haitta-ainepitoisuuksia [11].

Kainuun Voima Oy on asettanut edellä mainitut vaatimukset kierrätyspolttoaineen ominaisuuksille sen takia, että se voi hyödyntää polttoainetta voimalaitoksessaan Kajaanissa. Polttoaineen sisältämän klooripitoisuuden pitäminen pienenä on tärkeää, sillä suurempina määrinä se on hyvin haitallista voimalaitoksen kattilalle. Voimalaitoksen kattilatyypin Kajaanin Voimalla on kiertopetikattila. Periaatekuva kattilan toiminnasta on esitetty kuvassa 1 sivulla 4. Polttoaineen sisältämä energia saadaan hyödynnettyä n. 90 %:n tarkkuudella. Muita käytettyjä polttoaineita kierrätyspolttoaineen lisäksi ovat turve, puu eri muodoissaan, ratapölkyistä valmistettu hake sekä raskas ja kevyt polttoöljy. Lopputuotteina Kajaanin Voima Oy tarjoaa prosessihöyryä, kaukolämpöä sekä sähköä. [12.]

## 2.5 Prosessioptimoinnin yleiset periaatteet ja vaikutukset

Sana prosessi on määritelty näin: prosessi on mikä tahansa toistuva toimintaketju. Kai Laamanen taas määrittelee prosessin näin: ”Prosessi on joukko toisiinsa liittyviä toimintoja ja niiden toteuttamiseen tarvittavia resursseja, joiden avulla saadaan aikaan toiminnan tulokset” [13].

Prosessikeskeisessä ajattelussa korostuu kokonaisuuden tarkastelu yksittäisen toiminnon sijaan. Näin ollen toiminnan virheet saadaan vähenemään ja lopputuotteen, oli se mikä hyvän, laatu paremmaksi. Prosesseihin perustuvan toiminta-ajattelun hyödyiksi voidaan luetella myös ongelmatilanteiden sekä niiden aiheuttajien tunnistaminen ja ratkaiseminen, etsitään ongelman aiheuttajan (henkilö) sijasta sitä, mikä teki virheen mahdolliseksi. [14].

”Optimointi tarkoittaa optimiarvon tai –määrän, tai yleisimmin parhaan vaihtoehdon etsimistä” [15]. Optimoinnilla siis yleisesti tarkoitetaan jonkin asian parantamista. Syitä siihen, että jotakin asiaa halutaan alkaa parantaa, voidaan mainita asiakkaan tyytymättömyys tuotteen siinä esiintyvän liiallisen laadunvaihtelun takia, tai vaikkapa tuotantoprosessin syntyvän liiallisen hukan määrä, josta yritykselle ei kerry voittoa.

Prosessioptimoinnilla tämän työn yhteydessä tarkoitetaan murskaus- ja lajitteluprosessin optimointia. Syiksi voidaan mainita tuotantoprosessin tehostamisen, lopputuotteena olevan kierrätyspolttoaineen maksimaalisen laadun takaamisen, sekajätteen murskauksessa syntyvän, poltettavaksi kelpaamattoman jätejakeen mahdollisimman suuren hyötykäyttöasteen ym. seikkoja, jotka ilmenevät tässä insinööriyössä ja joiden johdosta prosessioptimointi kaikessa kokonaisuudessaan tuli aiheelliseksi tätä lopputyötä suunniteltaessa.

## 2.6 Tässä työssä suoritettut testaukset

Tässä työssä pyrittiin selvittämään, millä keinoilla ja miten kierrätyspolttoaineen mekaanista laatua voidaan parantaa, jotta jo aiemmin tässä raportissa mainitut seikat saadaan täytettyä. Tutkittaviksi asioiksi valikoituivat mm. kosteuden merkitys eri jätelajikkeiden seuloutuvuuteen sekä palakoon pienentämisen vaikutus verrattuna karkeasti murskatun jätejakeen seuloutuvuuteen ja lajiteltavuuteen. Lisäksi lajiteltiin hieman sekajätteen sisältämien partikkelien materiaalipohjaa siten, että valitusta näytteestä lajiteltiin sen sisältämät ainesosat ja näin ollen selvitettiin sen sisältämää materiaalipohjaa. Lajitelluille jakeille pyrittiin myös miettimään mahdollisia hyötykäyttökohteita.

### 3 SEKAJÄTTEEN MURSKAUS JA LAJITTELUKETJU

Ulkopuolinen yrittäjä on valittu suorittamaan murskausta tarjouskilpailun perusteella. Tarjouspyyntö on ollut esillä HILMA-hankintasivustolla vuoden 2011 loppupuolella. Tarjouskilpailun perusteella tehtävään valittiin kajaanilainen Huurinainen Oy. [16.] Tarjouskilpailussa mukana olleita yrityksiä vertailtiin mm. yrityksen konekannan kautta sekä mahdollisen jätteenmurskauksesta kertyneen kokemuksen kautta. Käytettävällä laitteistolla on lisäksi päästävä käsittelyssä vähintään 55 %:n saantoon REF II-kierrätyspolttoaineeksi koko seka- ja energiajätteen määrästä[11].

#### 3.1 Kainuulainen sekajäte

Tässä luvussa esitettävät kainuulaisen sekajätteen vuotuiset määrät sekä sen sisältämät jätejakeet pohjautuvat Elina Tampion kirjoittamaan selvitykseen kainuulaisen yhdyskuntajätteen syntymisestä sekä sen sisällöstä [17].

Elina Tampio Kainuun ELY-keskuksesta kirjoitti vuonna 2010 raportin, jossa selvitettiin kainuulaisen yhdyskuntajätteen koostumus sekä biohajoavuus. Raportista ilmenee, että vuosina 2005 - 2009 Kainuussa syntyi vuosittain yhdyskuntajätettä n. 38 900 tonnia. Tästä määrästä yhdyskuntajätettä vuodessa päätyi kaatopaikoille n. 16 500 tonnia. Sekajätteen sisältämän biohajoavan jätteen osuuden kerrotaan olevan n. 28 % kokonaisekajätteen määrästä.

Tarkemmin eriteltynä kainuulainen sekajäte sisältää Elina Tampion raportin mukaan keskimäärin

- paperia, pehmopaperia, pahvia ja kartonkia 16,9 %
- puuta 0,5 %
- tekstiiliä 3,0 %
- muovia(polttokelpoinen) 20,2 %
- biojätettä 10,8 %



- kaatopaikkajätettä(hyödyntämiskelvoton jäte) 40,5 %
- lasia 2,3 %
- metallia 4,8 %
- ongelmajätettä ja SER:iä(Sähkö ja Elektroniikka Romu) 1,0 %

Kainuulaisesta sekajätteestä siis n. 41 % on varsinaisesti kaatopaikoille loppusijoitukseen kuuluvaa jätettä. Nämä 41 % sisältävät sellaisia tuotteita, kuten esimerkiksi PVC-muoveja, villoja, puutarhaletkuja, kevytpeitteitä ja pressuja, kattohuopia ym. valmisteita, joita ei vielä tällä hetkellä voida hyötykäyttää ja joiden polttamisessa syntyviä savukaasuja on vaikea puhdistaa.

### 3.1.1 Sekajätteen hyödyntäminen energiana Kainuussa

Puhuttaessa sekajätteiden hyödyntämisestä energiana Kainuussa, niin vaihtoehtoja ei ole tällä hetkellä muita kuin polttomahdollisuus. Erilliskerätystä energiajätteestä valmistettua kierrätyspolttoainetta on käytetty polttoaineena Kainuun Voimalla jo aikaisemmin, mutta siihen ei ole sekoitettu sekajätteestä murskattua ja seulottua jätettä. Polttoon kelpaavaa jätettä kainuulainen sekajäte sisältää n. 41 %. Tähän sisällytetään myös sekajätteen mukana olevien tekstiilien määrä, joita ei kaikissa tapauksissa kelpuuteta poltettaviksi. Tämän raportin kohdassa 4.2 (Sekajätteen eri osasten mahdollisimman suuri hyötykäyttöaste) tullaan miettimään myös muiden sekajätteen sisältämien jätelajien mahdollista hyötykäyttöä.

### 3.1.2 Majasaaren jätekeskus ja murskauksen tapahtumapaikka

Kierrätyspolttoaineen valmistus tulee tapahtumaan Majasaaren jätekeskuksessa, Kajaanissa. Majasaaren jätekeskus sijaitsee Kajaanin eteläpuolella Mustantien varressa. Alueen kokonaispinta-ala on n. 100 ha, josta tällä hetkellä on käytössä n. 20 ha. Jätteiden loppusijoitusalueilla muodostuva metaani, joka on haitallinen kaatopaikkakaasu, kerätään talteen ja käytetään hyödyksi mm. lämmittämällä jätekeskuksen toimitiloja. Ympäristövaikutuksia tarkkaillaan

jatkuvasti kaikkien jätelajikkeiden osalta. Majasaaren vesienkäsittely sekä vesienpuhdistus ovat uutta tekniikkaa. [18].

Itse murskaus tulee tapahtumaan jätekeskuksen alueella sijaitsevassa hallissa, johon murskaus- ja seulontalaitteisto sijoitetaan. Halli on esitettyä ulkoapäin alla olevassa kuvassa 3.



Kuva 3. Halli, jossa kierrätyspolttoaineen valmistus tapahtuu.

### 3.2 Ulkopuolisen yrittäjän laitteisto

Murskausalaitteiston sijoittelu halliin ja prosessin toimintaketju ylhäältäpäin tarkasteltuna on esitetty liitteessä 2, jossa hallin pohjapiirrokseen on sijoitettu alustavasti käytettävät koneet ja laitteet. Liitteestä 2 selviää myös prosessin eteneminen, joka on esitetty myös prosessikaavio kuvauksena kuvassa 2 sivulla 5. Samaa menetelmää käyttäen liitteen 2 piirrokseen on lisätty kirjain, jolloin prosessin eteneminen on helpompi hahmottaa alla olevaan prosessiselostukseen pohjautuen. Konekantaan tulee sisältymään ainakin prosessin alkuvaiheessa päämurska, rumpuseula, tuuliseula ja mahdollinen jälkimurska. Itse prosessin kulku tarkemmin selostettuna pohjautuen liitteen 2 pohjapiirrokseen on seuraava:

1. Saapuva jätekuorma tuodaan halliin(viikonloppuisin ja öisin saapuva tavara kipataan piirroksen vasemmassa laidassa sijaitseviin siloihin, joka toimii myös puskurivarastona). (A)

2. Kaivinkone levittelee kuorman ja esilajittelee sen, mahdolliset kierrätyspolttoaineen laatua heikentävät tai murskainta vahingoittavat esineet poistetaan. (B)
3. Murskaimeen sopiva tavara syötetään kaivinkoneella murskaimeen, murskain murskaa jätteen sovittuun palakokoon, murskaimen jälkeen on magneettierotin magneettisten metallien poistoa varten. (C)
4. Murskattu jäte etenee kuljetinta pitkin rumpuseulalle, jossa mm. lajittelu palakoon perusteella. (D)
5. Jäte siirtyy kuljetinta pitkin tuuliseulalle, jossa tapahtuu jätejakeen painoon perustuva erotus. Kevyempi tavara eli ylite, jossa polttoon kelpaava jae tullaan ottamaan talteen, ja painava tavara eli alite, jossa mm. biojätettä erotellaan ja viedään muualle. (E)
6. Tuuliseulan jälkeen tulee mahdollinen jälkimurska, jos palakoko on liian suuri. (F)
7. Tuuliseulan/Jälkimurskan jälkeen läjitys ja mahdollinen sekoitus pyöräkonetta käyttäen. (G)

#### 4 PROSESSISSA SYNTYNEET JAKEET

Seuraavassa käydään läpi tämän insinööriyön kokeellista osuutta. Prosessissa syntyneiden jakeiden määrittämisessä tarkoituksena oli erotella kaikki murskatun sekajätteen sisältämät jätejakeet toisistaan. Oletettavasti murskattu sekajäte tulee sisältämään kohdassa 3.1 eriteltyjä, sekajätteen sisältämiä jätejakeita. Jätejakeiden määrittämiseen tarkoitettua otannan laajuudesta ja laadukkuudesta riippuen voidaan arvella jätejakeiden suhteiden mahdollisesti olevan hyvinkin erilaisia, kuin kohdassa 3.1 on esitetty.

Varsinaisen standardin SFS 5875 määritelmässä näytteiden otosta on kirjoitettu mm. seuraavasti: ”Näytteenoton tarkoituksena on saada koko tutkittavasta polttoaine-erästä mahdollisimman edustava ja kuvaava näyte. Yksittäisnäytteitä ei missään näytteenottotilanteessa tule ottaa aivan tutkittavan kohteen pinnasta, reunoilta eikä pohjasta. Yksittäisnäytteet voidaan analysoida joko erikseen tai yhdistää kokoomanäytteeksi”. [19]. Myös näytteen ottopaikat on määritelty ja ne ovat

1. putoava materiaalivirta
2. pysäytetty kuljetinhihna
3. liikkuva kuljetinhihna
4. varasto tai kuorma

Kuitenkin johtuen viivytyksistä varsinaisen murskaus- ja seulontaprosessin aikataulussa päätettiin analysoitavan näytteen kerääminen suorittaa seuraavalla tavalla.

Seulottava materiaali on murskattu Majasaaren jätekeskuksessa laitteistolla, jolla murskataan erilliskerättyä energiajätettä, joka myös hyödynnetään polttamalla. Itse materiaali, joka murskattiin, otettiin otantana kolmesta eri jätekuormasta. Jokaisesta jätekuormasta otettiin pyöräkuormaajan kauhaan silmämääräisesti arvioituna samankokoinen määrä jätettä, joka lastattiin metalliselle vaihtolavalle. Vaihtolavalla olevat kolme jätekuormaa käännettiin sekaisin muutamia kertoja. Tämän jälkeen jäteotanta vietiin murskauslaitteen luo, jolloin kaivinkoneen kuljettaja otti sattumanvaraisesti lavalta jätettä viisi kertaa kahmarilla ja syötti ne murskaan. Ennen sekajätteen murskaan syöttämistä murskauslaitteiston oli annettu käydä tyhjänä, jolloin aikaisemmin murskattu erilliskerätty energiajäte oli poistunut järjestelmästä. Myös murs-

kauslaitteistoon kuuluva magneettierotin oli sammutettu, jolloin sekajätteen mukana oleva metalli ei poistunut jätteen seasta. Näin ollen saatiin totuudenmukainen otanta kaikkine jättejakeineen. Sekajäte ajettiin murskan läpi, ja murskaimen yhteydessä oli 100 mm:n seulaverkko. Seulan ylite eli seulaverkon reikäväliä suuremmat jakeet kiersivät automaattisesti takaisin murskaukseen. Seulan alite eli 100 mm:n seulaverkon läpäissyt jae otettiin talteen pyöräkuormaajan kauhaan ja siitä otettiin säilöön sattumanvaraisesti noin 600 litran suuruinen erä murskattua ja sopivaan palakokoon seulottua sekajätettä. Aluksi, ensimmäisiä seulontoja ja testejä varten 600 litran murskatusta sekajäte-erästä otettiin kuusi näytettä, jokaisen koko noin viisi litraa. Seulottavien näytteiden koko määriteltiin lajittelussa käytettävän seulakoneen tilavuuteen perustuen. Suurempi näyte koko ei enää olisi luontevasti sopinut seulakoneen ylimmän eli karkeimman seulan päälle.

Sekajätteen ja jättejakeiden analysointi tapahtui Kajaanin ammattikorkeakoulun omistamalla laboratoriokontilla, jossa kaivostekniikan opiskelijat käyvät tekemässä opintoihinsa liittyviä laboratorioharjoituksia. Murskatun sekajätteen sisältämien osasten selvittämiseksi murskattu, lajittelematon yhdyskuntajäte tulee seuloa ja eritellä jokainen jae omakseen. Seulonnassa tarvittiin seuraavia laitteita ja komponentteja:

- seulontalaitteet; Täryseula Retsch AS 450 ja käytetyt seulat, jotka olivat standardin ISO3310-2 mukaisia reikälevytestiseuloja
- kuivausuuni, jolla seulottava jäte kuivattiin
- vaaka, jolla tarvittavat punnitukset suoritettiin

#### 4.1 Seulonnan toteuttaminen

Seulonnalla tarkoitetaan yleisesti kappaleiden erottamista toisistaan johonkin suureeseen, yleensä partikkelikokoon perustuen. Seulonnalla tässä kohdassa pyrittiin selvittämään murskatun jätteenäytteen sisältämien partikkelien koko ja niiden määrä verrattuna seulottavan näyte-erän kokonaispainoon. Tähän päädyttiin siksi, että voitaisiin arvella partikkelien vaikutusta loppukäyttäjän tarpeita ajatellen, tässä tapauksessa siis partikkelien vaikutusta ja käyttäytymistä tässä muodossaan leijupetipoltossa.

Ensimmäisellä kerralla, kun seulottiin murskattua jätettä, keskityttiin ”seulonta-arvojen” määrittämiseen ja seulonnassa käytettävien välineiden, lähinnä käytettävien reikäseulojen koon määrittämiseen. Tähän päädyttiin siksi, koska ensimmäisen kerran, kun yritettiin seuloa jätejakeita erilleen toisistaan partikkelikokoon perustuen, huomattiin, että käyttämämme reikäseulat toimivat heikosti. Ensimmäisessä seulonnassa käytettiin reikäseuloja, joiden reikäkoot olivat 80 mm, 40 mm, 31,5 mm ja 4mm. Ensimmäisessä seulonnassa käytetyt reikäseulat ovat esitettynä alla kuvassa 4.



Kuva 4. Ensimmäisessä seulonnassa käytetyt reikäseulat. Koot; vas. ylh. 80 mm, vas. alh. 40 mm, oik. ylh. 31,5 mm ja oik. alh. 4 mm.

Reikälevyseulat asetettiin päällekkäin, siten että karkein eli 80 mm:n reikäkoon omaava seula tulee päällimmäiseksi ja siitä alaspäin suuruusjärjestyksessä siten, että pienin on alimmaisena. Halkaisijaltaan 4 mm reiän omaavan reikälevyseulan alla oli vielä pohjalevy, johon läpimitaltaan alle 4 mm jätejakeen kuuluisi tippua. Kuitenkin ensimmäistä seulontaa suorittaessa huomattiin, että joidenkin reikäseulojen päälle ei jäänyt mitään, joten ne päätettiin muuttaa reikäkooltaan erilaisiksi tai kokonaan poistaa. Tätä päätöstä havainnollistaa alla oleva kuva 5, jossa näkyy, että läpimitaltaan yli 80 mm:n jätejakeita ei tässä käytännössä ole jäänyt seulan päälle.



Kuva 5. Reikäkooltaan 80 mm:n seula ensimmäisen seulonnan yhteydessä.

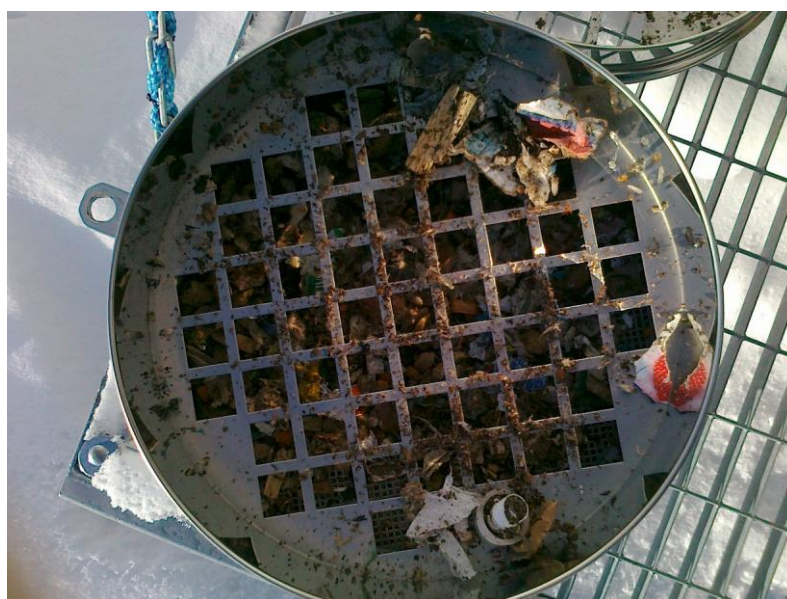
Ensimmäisen näyte-erän seuloutumista seurattaessa huomattiin, että partikkelit olivat tarttuneet hyvin tiukasti toisiinsa. Pienet partikkelit olivat kiinni isommissa, eikä niitä saatu irtautumaan kunnolla erilleen, kuten kuvista 5 ja 6 voi päätellä. Jätteen kokonaiskosteudella todettiin siis olevan hyvin suuri merkitys jätejakeiden seuloutuvuuden kannalta.



Kuva 6. Kosteuden merkitys partikkelien sitoutumisessa toisiinsa.



Pohdittuamme kosteuden merkitystä ja vaikutusta seuloutuvuuteen päätettiin, että tässä vaiheessa ei oteta vielä ylös seuloille jääneitä painoja, koska tulokset eivät olisi luotettavia. Asian pohdinnan jälkeen päätettiin, että seuraava näyte-erä kuivataan ja kokeillaan kuivaamisen vaikutusta seuloutuvuuteen. Samalla arvioitiin käytettävien reikäseulojen kokoa. 80 mm:n reikäseula päätettiin vaihtaa pienempään, 50 mm:n reikäkoon omaavaan seulaan. Samalla päätettiin poistaa kokonaan 31,5 mm:n reikäseulan, koska siitä ei ollut konkreettista hyötyä jätejakeiden seulomista koon perusteella ajateltaessa. Päätöstä havainnollistaa kuva 7.



Kuva 7. 31,5 mm:n reikäseula. Käytännössä kaikki seulalla jääneet jakeet menisivät siitä vielä läpi.

Uusi jätenäyte nro 2 jaettiin alumiinivuokiin, jotka siirrettiin uuniin. Uunin lämpötilaa ei vielä asetettu tasaiseksi eikä kuivausaikaa määrätty tarkasti, sillä kyseessä oli vain testi, jolla arvioitiin aistinvaraisesti kuivauksen merkitystä jätejakeiden seuloutuvuuteen. Näin ollen päätettiin myös puolittaa kuivattavan jätteen määrä, koska koko näyte, n. viisi litraa ei olisi sopinut kerralla kuivausuuniin. Jätettä kuivattiin n. kaksi tuntia alumiinivuokien sisältöä välillä käännetellen. Näytteen ollessa silmämääräisesti arvioituna kuivempi kaadoimme näytteen seulakoneeseen. Käytettyjen reikäseulojen koot olivat nyt 50 mm, 40 mm, 4 mm ja pohjalevy. Seulontaaikaa ei määritelty tarkasti ja tärytysvoimakkuudeksi valittiin 1,0, joka havaittiin toimivaksi arvoksi ensimmäistä seulontaa suoritettaessa.

Seulonnan edistymistä seurattaessa huomattiin, että kuivempi tavara seuloutuu huomattavasti paremmin kuin ensimmäisellä yrityksellä seulottavana ollut tuore ja kosteampi jäte. Jätejakeet



irtautuivat toisistaan ja läpäisivät seulat paremmin. Silmämääräisesti arvioituna jätteen ”puhtaus” siis kasvoi, kuten kuvasta 8 voi päätellä. Vaikka nyt seulottavan näytteen koko oli pienempi kuin ensimmäisellä kerralla, huomattiin myös pohjalle siirtyneen huomattavasti enemmän hienoaainesta kuin ensimmäisen seulonnan yhteydessä. Myös reikäseulojen koon vaihtamisella ja optimoinnilla arveltiin olevan vaikutusta jätejakeiden tasaisempaan jakautumiseen seulojen kesken.



Kuva 8. Kuivattu ja seulottu koe-erä 4 mm:n reikäseulan päällä.

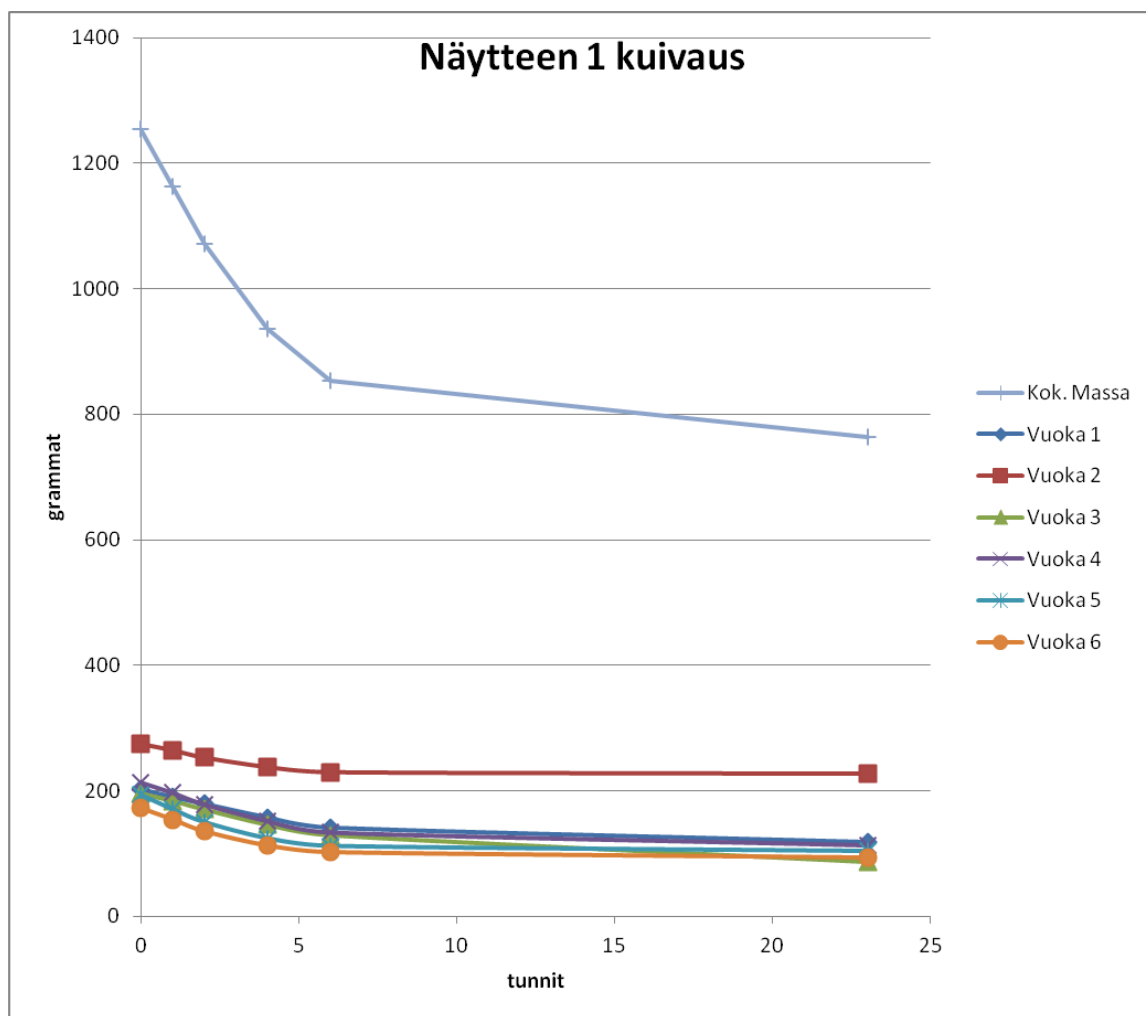
Positiivisista päätelmistä ja havainnoista johtuen päätettiin, että seuraavaksi seulottavat näytteet kuivataan ennen niiden seulomista parempien tuloksien saavuttamiseksi. Kuivattavista näytteistä otetaan ylös myös märkápainot, niiden mahdollisen hyödyntämisen vuoksi tulevaisuudessa.

#### 4.2 Näytteiden kuivaus

Positiivisten kokemusten jälkeen päädyttiin kuivaamaan seulottavat jätenäytteet. Kuivaus päätettiin suorittaa noudattamalla standardin ISO 589 antamia ohjeita, jotta kuivauksen yhteydessä saatavia tuloksia voitaisiin hyödyntää muissakin kierrätyspolttoainetta koskevissa analyyseissä. Tällaisia tulevat olemaan mm. kierrätyspolttoaineen sisältämän tehollisen lämpöarvon selvittäminen. Standardissa ISO 5875 määritellään kokonaiskosteuden määrittämisessä käytettävät poikkeukset, verrattuna alkuperäiseen standardiin ISO 589. Näyte tulee kui-

vata ilmastoidussa lämpökaapissa (tässä työssä korvattu lämpöuunilla)  $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa vakiopainoon. Näytteitä ei saa kuivata yli 24 h. Jos käytetään kosteusprosentin määrittämiseen useampaa näytettä, niin rinnakkaismääritysten välinen ero ei saa olla suurempi kuin 5 prosenttia rinnakkaismääritysten keskiarvosta, kun kosteus  $>20$  massaosuusprosenttia, eikä suurempi, kuin 10 prosenttia, kun kosteus  $\leq 20$  massaosuusprosenttia.

Näyte kokonaisuudessaan jaettiin 6 foliovuokaan. Folioista 4 oli pienempiä ja 2 hieman suurempia, jolloin koko näyte n. 5 litraa saatiin sopimaan uuniin. Ensimmäisen näytteen maksimi kuivausaika oli 23 h. Foliovuokien sisältöä käännettiin silloin tällöin, jotta niissä oleva jäte kuivaisi kokonaisuudessaan tasaisesti. Alkupaino kuivattavassa näytteessä 1 oli 1249,1 grammaa sisältäen pussin, jossa näyte oli, ja lopullinen paino kuivauksen jälkeen oli 752,4 grammaa sisältäen pussin. Näytteestä oli siis haihtunut 496,7 grammaa kuivauksen aikana, joka karkeasti sanottuna on noin 40 % näytteen kokonaispainosta. Näytteen painon muutos ajan funktiona on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Jätteen painon muutos grammoina ajan funktiona h.

Kuvassa 9 on eriteltyä eri foliovuokien painonmuutokset kuivausajan funktiona. Tarkemmat painonerittelyt kuivauksen eri ajankohdista löytyvät tämän insinööriyön liitteestä 3.

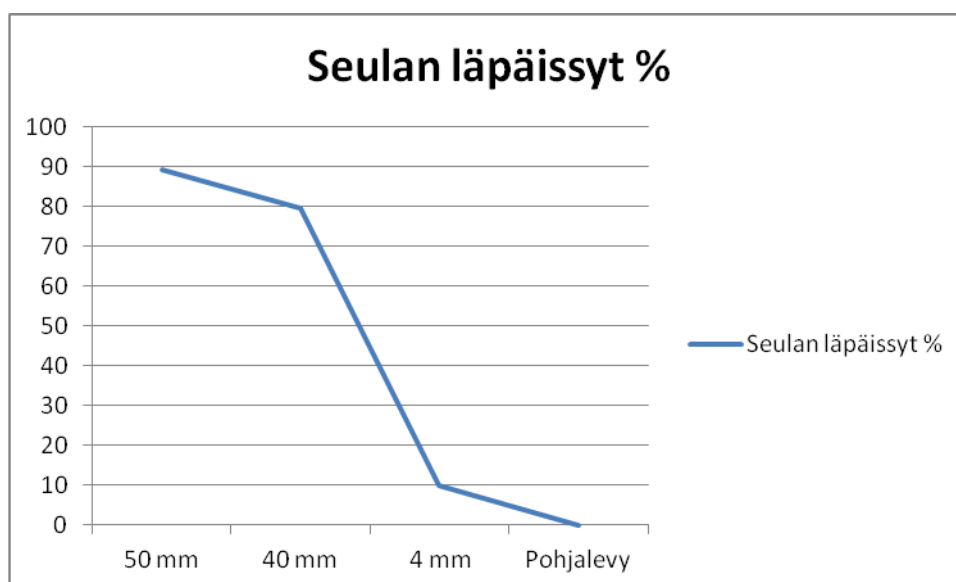
#### 4.3 Kuivatun näytteen seulonta

Positiivisten havaintojen pohjalta päätettiin kokeilla, minkälainen vaikutus näytteen kuivaamisella olisi seulontaan ja sen tuloksiin, jos kuivan näytteen seulontaa verrataan tuoreen jätteen seuloutuvuuteen. Jotta tuloksia ja havaintoja voitaisiin vertailla, tuli seulonta tapahtua samoilla laitteilla ja niissä olevilla asetuksilla, kuin mitä alkuperäisessä muodossa olevan jätteen seulonta tapahtui. Samasta syystä myöskään seulonnassa käytettyjen reikäseulojen reikävälä ei nähty tarpeelliseksi muuttua. Seulonnan tulokset ovat nähtävillä taulukossa 1.

Taulukko 1. Ensimmäisen kuivatun sekajätteen seulonnan tulokset.

Näyte	Kuivattu sekajäte				
Päivämäärä	28.2.2012				
Punnitus	753,1				
Seulonta-aika	5 min.				
Seula-aukko	Seula ennen	Seula jälkeen	Seulalle jäänyt		Seulan läpäissyt
mm	g	g	g	%	%
50	2034,2	2114,2	80	10,6	89,4
40	1753,7	1827,7	74	9,8	79,6
4	1574,8	2100,3	525,5	69,8	9,8
Pohja	1723,9	1783,7	59,8	7,9	0
Yhteensä	7086,6	7825,9	739,3	98,1	
Häviöt			13,8	1,9	

Tuloksia tarkasteltaessa voidaan todeta, että suurin osa seulotusta jätteestä eli hieman yli 2/3-osaa jäi 4 mm:n reikäseulan päälle. Jälkiviisaana on helppo todeta, että mahdollinen väliseula olisi ollut paikallaan. 4 mm:n reikäseulan päälle jääneen tavaran painoa kokonaispainoon verraten nostaa kohtalaisen suuri metallinpala, jonka paino erikseen punnittuna oli 170,8 grammaa. Seulan läpäisy prosentteina on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Seulan läpäissyt ainemäärä raekoon funktiona.

Tarkemmin seulojen päälle jääneitä jakeita tarkasteltaessa ensimmäisen eli reikäkooltaan 50 mm:n seulaverkon päälle jäänyt tavara eriteltynä karkeasti palavaan ja ei palavaan ainekseen on esitetty kuvassa 11. Palavaan tosin on sijoitettu kaikki muovit, myös PVC, joka ei sinne kuulu. Reikäkooltaan 4 mm:n seulan päälle jääneen PVC-muovin prosentuaalinen osuus palavan jätteen kokonaismäärästä selvitettiin yksinkertaisella kellutuskokeella, jossa lajiteltu muovi lasketaan vesiastian. Palava muovi kelluu pienemmän tiheydensä ansiosta ja tiheydeltään suurempi PVC-muovi painuu pohjalle. PVC-muovin suhteellinen osuus kokonaismuovin määrästä päätettiin selvittää juuri 4 mm:n reikäseulan ylitteestä, koska sen päälle jääneen jakeen määrä on sen veran suuri, että mittaaminen on järkevää.

Seulonnan jälkeinen lajittelu on toteutettu tämän työn kaikissa kohdissa silmämääräisesti ja jaottelun perusteena on ollut jätejakeiden tunnistaminen mm. painon ja ”näppituntuman” perusteella.



Kuva 11. 50 mm:n seulalle jäänyt jae eriteltynä silmämääräisesti.

Erottelun perusteena käytettiin silmämääräistä erottelua, jossa selvästi tunnistettavat, ei-palavat esineet on sijoitettu kuvassa 11 näkyvään vasemmanpuoleiseen vuokaan. Tällaisia olivat mm. kuvassa näkyvä laikka sekä alumiini- ja tinapinnoitteiset pakkauskauret. Oikeanpuoleisessa vuossa taas on sijoitettuna palavat muovit, pahvit ja paperi. Laskettuna jakeiden jakautuminen vuokien välillä oli seuraava; palamaton jae painoi 25,6 grammaa ja muu, osit-

tain poltettava 63,0 grammaa. Biojätettä tämän seulan ylitteessä ei silmämääräisesti lajiteltuna havaittu. Molemmissa kuvissa 11 ja 12 on havaittavissa hienoaineksen pieni osuus jätejakeiden pinnoilla. Vrt. kuvat 5 ja 6. Reikäkooltaan 40 mm:n seulan ylite on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Reikäkooltaan 40 mm:n seulalle jäänyt jae

40 mm:n seulan ylite sisälsi suhteessa vähemmän palamatonta jätettä kuin 50 mm:n seula. Kokonaisjätteen määrästä tälle seulalle jäänyt jae jakautui seuraavasti. Metallia, alumiinipinnoitteisia pakkauksia oli 8,6 grammaa ja palavaa 65,6 grammaa sisältäen mm. selvästi tunnistettavissa olleita muovipussien palasia, pakkausmuovia sekä elintarvikepakkausten muoveja. Jakeet lajiteltuina esitelty kuvassa 13.





Kuva 13. 40 mm:n seulan ylite.

4 mm:n reikäseulan päälle jäi oletettavasti eniten tavaraa. Ylite reikäseulan päällä on nähtävillä kuvassa 14. Samasta kuvasta voi havaita, että väliseulan, mahdollisesti kokoa 8-12 mm, käyttö olisi ollut perusteltua, jos jätejakeiden kokojakaumaa olisi haluttu tarkastella laajemmin.



Kuva 14. Jakeet seulan päällä ennen käsin lajittelua

Kuvasta 14 ilmenee hyvin myös jo aiemmin mainittu huomattavasti puhtaampi perusjakeen muoto, josta hienoaines on seuloutunut irti. Seulan päälle jäänyt jae oli suurimmaksi osaksi

poltettavaksi jaoteltua jätettä, ainakin jos perustana käytetään tilavuutta. Se sisälsi jo edellä mainittujen muovin, pahvin ja paperin lisäksi pienen määrän puuta sekä kangasta. Energiajakeen paino tämän seulan ylitteessä oli 220,7 grammaa. Muovien jaottelussa löytyi PVC-muovia eli polttoon kelpaamatonta muovia 18,3 % energiajakeen sisältämän muovin kokonaismäärästä. Jaottelu perustui painoeroon. Jotta kosteuden imeytymisen vaikutukset saatiin minimoitua, vesiastiassa käytettyjä näytteitä kuivattiin n. kaksikymmentä minuuttia uunissa, jotta kosteuden merkitys poistuisi.

Reikäkooltaan 4 mm:n seulan ylitteessä olevan, polttoon kelpaamattoman jätteen osuus on lajiteltuna painoon perustuen kohtuullisen suuri. Tähän vaikuttaa tosin näytteessä ollut metalliputken pala, jonka paino yksittäin punnittuna oli 170,8 grammaa. Metallin lisäksi polttoon kelpaamaton jae sisälsi mm. lasia, metallifoliota, selvästi tunnistettavaa biojätettä ja erilaisia kiviaineksia, mm. kaakelia ja kipsilevyn palasia. Energiajakeen suuri osuus seulan päälle jääneen kokonaisjätteen määrästä hahmottuu kuvasta 15, jossa 3 oikeanpuoleista vuokaa sisältävät energiajakea. Kuvassa 15 näkyvien vuokien sisältö on varastoitu ja suljettu ilmatiiviisiin pusseihin mahdollista myöhempää ja tarkempaa tarkastelua varten.



Kuva 15. 4 mm:n seulan ylite.



Seulakoneen pohjalle seuloutunut hienoaines, ”muha”, sisälsi hiekkaa, jonkin verran lasia ja yleisesti hienoainesta. Hienoaineksen tarkempi tutkiminen tulisi suorittaa koulun omistamalla mikroskoopilla, jota ei tämän työn yhteydessä kuitenkaan tehty. Lisäksi hienoaineksen joukosta oli havaittavissa pieni osuus puuta ja muovia. Seulonnassa pohjalle valunut hienoaines löytyy kuvasta 16.



Kuva 16. Hienoaines pohjalevyllä.

Seulonnassa pohjalle valunut osuus kasvoi odotusten mukaisesti suuremmaksi kuin alkuperäisessä, ensimmäisessä seulonnassa, joka suoritettiin tuoreella ja kostealla jätteellä. Kuivauksella voidaan siis todeta olevan hyvin suuri merkitys hienoaineksen ja yleisesti jätejakeiden seuloutumiseen sekä jaottumiseen toisistaan. Näin ollen myös kierrätyspolttoaineen laatu nousee suhteessa polttoon menevien jätejakeiden puhtauden kanssa.

4 mm:n seulan päälle jäänyt raskaampi ja yleisesti polttoon kelpaamaton jae todennäköisesti seuloutuisi ainakin osittain tuuliseulan yhteydessä. Kuitenkin alkuperäisen seulonnan yhteydessä havaitut ongelmat kosteuden merkityksestä tarkoittavat varmastikin sitä, että polttoon menemättömän tuuliseulan alitteen seassa ja sen yhteydessä tulee olemaan varsin paljon polttoon kelpaavaa jätettä, jolloin prosessin hyötysuhde ja saanto tulevat laskemaan.

Rakennusvillojen yms. materiaalien puuttuminen tässä seulonnassa voidaan selittää siten, että alkuperäisen näytteen otannan yhteydessä ei huomioitu mukaan rakennussekajätettä. Tosin todellinen prosessi tulee toimimaan samalla tavalla. Esilajittelulla pyritään estämään villojen,

peltien, tiilien ym. lopputuotteelle epäsuosiollisten jätteiden joutuminen murskaimeen ja näin ollen lopputuotteen mukaan.

#### 4.4 Mahdollisimman suuri hyötykäyttöaste

Yhtenä tämän insinööritoiminnan tavoitteena oli miettiä sekajätteen sisältämille materiaaleille mahdollisimman monta asiaa, joihin ne soveltuisivat, eli toisin sanoen miten murskatun sekajätteen sisältämiä eri materiaaleja voitaisiin soveltaa hyötykäyttöön. Näin ollen loppusijoitukseen menevän jätteen määrä tulisi olemaan mahdollisimman pieni. Kohdissa 4.3.1 ja 4.3.2 on jaettu sekajätteen sisältämät eri osat hyötykäyttöön kelpaavaan ja kelvottomaan jätteeseen. Samalla olen eritellyt eri jätelajikkeiden materiaalipohjaa eli mitä materiaaleja näytteenä ollut sekajäte sisälsi. Tarkennettu energijakeiden lajittelu on suoritettu edellisessä kappaleessa mainitun 4 mm:n reikäseulan ylitteestä. Jakoprosentit on laskettu perustuen painoon.

##### 4.4.1 Hyödyntämiskelpoinen jäte

Hyödyntämiskelpoisen jätteen osuus tässä lajittelussa oli painoon perustuen noin 90,3 % kokonaisjätteen määrästä. Tarkemmin eriteltynä hyödyntämiskelpoisen jätteen osuuteen sisältyi mm. energijaetta, biojätettä ja metallia. Hyödyntämiskelpoisen jätteen polttoon menevät osat eli jakeet, jotka osallistuvat kierrätyspolttoaineen valmistamiseen, ovat eriteltynä taulukossa 2. Taulukon kohtaan Muu (hienoaaines) ovat sijoitettuna mm. irronneet hienoaaineet sekä sellaiset energijakeen mukaan kuulumattomat ainekset, jotka eivät tulleet esille ensimmäistä silmämääräistä seulontaa suoritettaessa. Tällaisia olivat mm. lasi sekä muutama kipsilevyn palanen, jotka nopeasti nostavat hienoaineksen (Muu) painon osuutta. Vertailua Elina Tampion tekemään tutkimukseen kainuulaisen sekajätteen sisältämästä materiaalipohjasta ei suoritettu, koska Tampion tutkimuksessa kaikki sekajätteen sisältämät jakeet eriteltiin, ja tässä työssä lajittelu kohdistui vain energijakeen osuuteen.

Taulukko 2. Energiajakeen sisältämät lajikkeet lajiteltuna 4 mm:n reikäseulan ylitteestä.

Materiaali	Massaosuus [m-%]
Puu	5,76
Paperi, kartonki	28,44
Muovi (polttokelpoinen)	22,25
Kangas	18,1
Muu (hieno- aines)	25,45
<b>Yhteensä</b>	<b>100%</b>

Tulevaisuudessa biojätettä hyödynnettänee mm. kaasuntuotannossa. Tällä hetkellä on testauksessa hanke, jossa tutkitaan biojätteen käyttäytymistä ja soveltuvuutta kuivamädätysprosessiin. Jos hanke tuottaa tulosta, se mahdollistaa murskaus- ja seulontaprosessissa syntyvän tuuliseulan alitteen hyötykäyttämisen kaasuntuotannossa. Tätä nykyä biojäte kompostoidaan ja käytetään mm. jätepenkkojen peittoon sekä jätekeskuksen maisemointitöihin. Tätä kirjoitettaessa hankkeesta ei vielä ole saatu tuloksia, joten biojätteen soveltumisesta kuivamädätysprosessiin ei vielä osaa sanoa varmuudella mitään. Metallit kerätään talteen, ja niiden jatkojalostuksesta ja kierrätyksestä sekä uusiokäytöstä vastaa taho, jolle kerätyt metallit luovutetaan.

#### 4.4.2 Hyödyntämiskelvoton jäte

Hyödyntämiskelvottoman jätteen osuus tässä otannassa painoon perustuen oli 9,7 % kokonaisjätteen määrästä, käyttäen vertailumääränä tässä seulonnassa mukana olleen jätteen kokonaismäärää. Tässä luvussa on mukana myös PVC-muovin osuus kokonaismuovin määrässä. Näiden jättejakeiden ”kohtalon” on joutua kaatopaikan roskapenkalle, eli ne menevät loppusijoitukseen. Tosin täryseulan pohjalle seuloutuvan hienoaineksen mahdollista käyttöä esim. roskien väliaikaisena peittomateriaalina kannattaa harkita tai hienoaineksen käyttämistä seos- ja sideaineina eri prosessien yhteydessä voisi tulevaisuudessa tutkia tarkemmin. Lisäksi jos erottelumekanismit olisivat tarpeeksi korkealla tasolla, niin eri jakeita voitaisiin mahdollisesti jatkojalostaa ja hyöty käyttää paremmin sekä tehokkaammin.

## 5 LAITTEISTON SEKÄ PROSESSIKETJUN OPTIMOINTI

Optimoinnilla tämän prosessin yhteydessä pyrittiin havaitsemaan seulonnassa seikkoja joilla voidaan vaikuttaa lopputuotteen laatuun. Lopputuotteen mahdollisimman korkea laatu on mm. prosessin lopputuotteena syntyvän kierrätyspolttoaineen käyttäjää ajatellen erittäin tärkeää, ja sen voidaan ajatella vahvistavan asiakassuhdetta tuotteen toimittajan ja asiakkaan välillä. Lopputuotteen mahdollisimman korkean laadun voidaan siis todeta olevan molempuolinen etu. Optimoinnilla pyrittiin saavuttamaan myös taloudellista hyötyä, sillä lopputuotteeseen sekoitettavan puuhakkeen hinta erillään myytynä on huomattavasti korkeampi, joten sen liika sekoittaminen kierrätyspolttoaineeseen ei olisi taloudellisesti kannattavaa.

Polttoaineen laadun parantamiseksi suoritettavat tarkastelut tapahtuivat samassa laboraatiokontissa sekä samoilla välineillä ja laitteilla kuin kappaleen 4 seulonnat. Ainoastaan palakoon pienentämiseen käytettiin Eko-Kympin omistamaa muovinrouhijaa, jolla jo kerran murskattu sekajäte murskattiin pienempään palakokoon. Rouhinta käytetään analyysiin lähtevien polttoaine-erien jaekoon pienentämiseen, jolloin saadaan pienennettyä vaihteluväliä, jossa paljastuvat mm. analyyseissä ilmenevät kuiva-aineen klooripitoisuudet. Muovirouhin, jolla näytteet murskataan, on esitetty kuvassa 17.



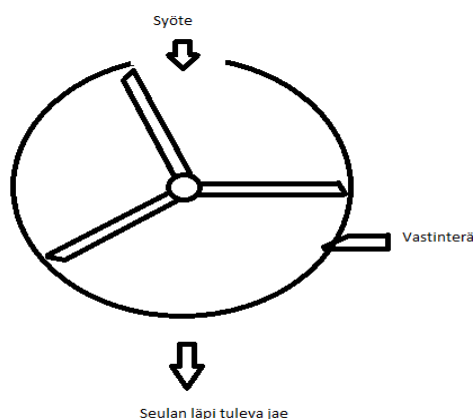
Kuva 17. Muovirouhin, jolla kerran murskattu jäte murskattiin pienempään palakokoon.

Jätteen murskaaminen pienempään palakokoon tulee siis tapahtumaan kuvassa 17 näkyvällä muovirouhimella. Rouhimessa ei ole tällä hetkellä mahdollisuutta vaihtaa seulaverkon kokoa, vaan kaikki murskaimen läpi tuleva tavara tulee olemaan palakoossa 7 mm tai sitä pienempää. Murskaimessa on yksi pyörivä akseli, jossa on kolme terää. Murskaimen rungossa on vastaterä, jota vastaan mm. kankaat ja muut vetolujuudeltaan kovemmat partikkelit repeytyvät. Terien ja vastaterän väli on säädettävissä. Terät ja seulaverkko ovat havaittavissa kuvassa 18.



Kuva 18. Muovirouhijan teräasetelma ja seulaverkko.

Seulaverkon puhdistus on toteutettu siten, että terien pyörähtäessä akselin ympäri ne kulkevat niin läheltä seulaverkkoa, että läpi sopimattomat kappaleet lähtevät terien mukana uudelle kierrokselle ja murskautuvat pienemmäksi, kun saavutetaan vastinterä. Näin ollen estetään seulaverkon tukkeutuminen murskattaessa kuivaa materiaalia. Periaatekuva murskaimen pesän rakenteesta on esitetty kuvassa 19. Pesän alareunassa on seulaverkko, jonka läpi murskattu jae painautuu, kun se on saavuttanut sopivan palakoon.



Kuva 19. Periaatekuva Motan–muovirouhimen pesästä.

Palakoon pienentäminen tapahtui kahdella kerralla. Ensiksi murskattiin kuivattu materiaali, jonka jälkeen syötettiin murskaan tuorempi tavara. Ennen kuivatun näytteen syöttämistä murskain avattiin ja puhdistettiin huolellisesti, jotta mahdolliset jäämät edellisiltä käyttökerroilta eivät olisi vaikuttamassa tämän tuotteen mukana. Tuoretta jätettä murskattaessa rouhin meni jumiin liian nopeasti tapahtuneen syötön johdosta, jolloin murskain piti aukaista ja tulos poistaa terien välistä. Jälkeenpäin ajateltuna oli hyvä, että kone meni jumiin, sillä nyt palakoko ei ole aivan niin pieni kuin kuivatun näytteen kohdalla, joka on kokonaisuudessaan mennyt läpi 7 mm:n seulaverkon. Näin ollen voitiin myös hieman tarkastella seuloutuvuutta isompien partikkeliosasten kohdalla, ja näyte ei ole kokonaan aivan hienoa, vaan vastaa melko hyvin todellisten jakeiden suhteellista kokojakamaa varsinaisessa prosessissa, jos käytössä olisi mahdollinen jälkimurskain. Murskaimeen ei tietoisesti syötetty tässä kokeessa metalleja, koska ne olisivat mahdollisesti olleet haitallisia terille vaan metallit, kuten pullonkorit, lisättiin hienompaan jakeeseen murskauksen jälkeen.

Tämän kokeen yhteydessä päätettiin myös tarkastella uudelleen jätteen kosteuden merkitystä seuloutuvuuteen. Tämä tapahtui siten, että murskattiin kaksi noin 5 litran näytettä, joista toinen on aiemmin kuivattu ja toinen on tuore. Näin saatiin konkreettista ja luotettavaa havaintoja kosteuden vaikutuksesta jätejakeiden seuloutuvuuteen ja näin ollen vaikuttavuudesta kierrätyspolttoaineen laatuun. Kuivatun näytteen painojakauma kuivauksen eri ajankohdissa on esitetty tarkemmin liitteessä 4, josta löytyy myös kuvaaja, jossa on piirrettynä jätteenpainon muutos ajan funktiona samalla tavalla kuin kuvassa 9 sivulla 19. Karkeasti sanottuna painon pudotus kuivauksen alusta kuivauksen loppuun oli tämän näytteen kohdalla hieman alle puolet.



## 5.1 Testit ja tulokset

Tässä kohdassa ei enää kiinnitetty huomiota kovin tarkasti eri jätelajien suhteisiin toisiinsa nähden ja lajittelua eri jätelajikkeisiin ei tehty. Seulonnassa pyrittiin vain havaitsemaan muutoksia verrattuna vanhoihin kokeisiin, joissa seuloutuvuutta määriteltiin. Pienemmän palakoon ensimmäisessä seulonnassa seulottiin ensiksi kuivattu jäte-erä. Tähän päädyttiin sen seikan johdosta, että tuore jäte mahdollisesti aiheuttaisi reikäkooltaan pienemmissä seuloissa tukkeutumista. Seuloiksi valittiin tässä seulonnassa reikäkooltaan 6,3 mm:n, 4 mm:n ja 2 mm:n seulat. Alkutilanne ennen seulontaa ilmenee kuvasta 20.



Kuva 20. Kuivan, pienen palakoon omaavan jätteen seulonnan alkutilanne.

Ensimmäisessä seulonnassa havaittiin suurimman seulaverkon reikävälin olevan hieman liian pieni, jotta tehokasta seuloutumista pääsisi tapahtumaan. Tämän seikan johdosta päätettiin ottaa yksi, reikäkooltaan suurempi reikäseula mukaan seulontaan, ja se tulisi olemaan reikäkooltaan 8 mm. Myös tärytysvoimakkuus päätettiin nostaa aiemmasta 1,0:sta 1,5:een. Taulukosta 3 ilmenevät seulonnan tulokset.



Taulukko 3. Pienemmäksi murskatun jätteen seulonnan tulokset.

Näyte	Kuivattu ja pienemmäksi murskattu jäte				
Päivämäärä	8.3.2012				
Punnitus	653,8				
Seulonta-aika	5 min.				
Seula-aukko	Seula ennen	Seula jälkeen	Seulalle jäänyt		Seulan läpäissyt
mm	g	g	g	%	%
8	1464,8	1494,0	29,2	4,7	95,3
6,3	1428,2	1511,4	83,2	13,5	81,8
4	1575,8	1669,7	93,9	15,2	66,6
2	1355,3	1549,7	194,4	31,5	35,1
Pohja	1724,5	1940,3	215,8	35,0	0
Yhteensä	7548,6	8165,1	616,5	99,9	
Häviöt			37,3	0,1	

Seulonnan yhteydessä havaittiin, että kuivattu jäte seuloutuu edelleen varsin hyvin. Jakeiden jaottuminen koon perusteella on tehokasta, eikä liimautumista jakeiden välillä havaittu. Kielteistä oli se, että seulottava näyte-erä oli hieman liian suuri ja että palakooltaan hienompaa jaetta seulottaessa seulottavan näyte-erän suuruus tulisi olla hienompi. Seulaverkoille, varsinkin reikäkooltaan yli 2 mm oleville seuloille jäänyt jae oli erittäin puhdasta eli hienoainesta ei niiden mukana ollut.

Tuoreen jätteen seulonta aloitettiin samoin kuin kaikissa seulonnoissa aiemmin. Tuotteesta otettiin alkupaino, ja se levitettiin suurimman reikäseulan päälle. Tuoreen jätteen seulonnan aloitustilanne on esitetty kuvassa 21.



Kuva 21. Tuoreen, pienempään palakokoon murskatun jätteen seulonnan alkutilanne.

Seulakoneen käynnistyttyä seurattiin seulonnan etenemistä lasikannen päältä. Havaittiin, että myös tässä tarvittaisiin vielä yhtä reikäkooltaan suurempaa seulaverkkoa, jotta varsinainen seulonta pääsee tapahtumaan. Siksi lisättiin mukaan reikäkooltaan 11,3 mm:n seula. Lisäystä puolsi myös sellainen havainto, että pienet jakeet kyllä liikkuvat, mutta eivät päässeet seulotavan tuotteen suuren määrän vuoksi tippumaan alaspäin. Kuvissa 22, 23 ja 24 esiintyy tuore tavara seulonnan jälkeen erikokoisten seulojen päällä.



Kuva 22. Tuore, pienemmäksi murskattu 8 mm:n seulan ylite.



Kuva 23. 6 mm:n seulan ylite.

Tämän näytteen seulonnassa silmiinpistävää oli 6 mm:n reikäseulan päälle jäänyt suuri ki-  
viaineksen määrä.



Kuva 24. Seulonnassa pohjalle pudonnut jae.

Pohjalla oli seulonnan loputtua paljon hienoaainesta, joskin tulee muistaa, että uudelleen  
murskauksen yhteydessä on tapahtunut myös muiden jätejakeiden hienontumista ja ne lisää-

vät pohjalle pudonneen jätejakeen osuutta. Kokonaisuudessaan tuoreen sekajätteen seulonnan tulokset painoineen on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Tuoreen, pienemmäksi murskatun jätteen seulonnan tulokset.

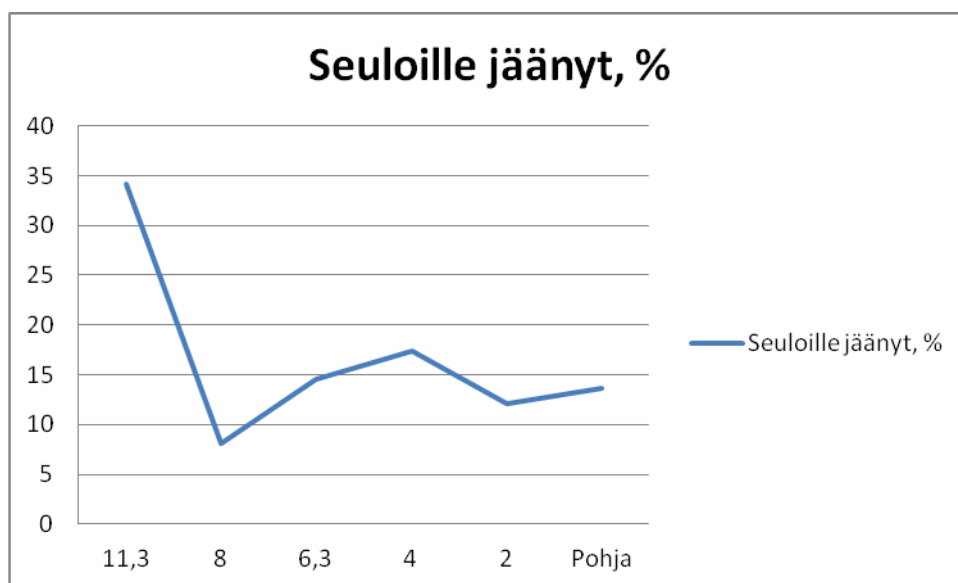
Näyte	Tuore ja pienemmäksi murskattu jäte				
Päivämäärä	8.3.2012				
Punnitus	1083,1				
Seulonta-aika	5 min				
Seula-aukko	Seula ennen	Seula jälkeen	Seulalle jäänyt		Seulan läpäissyt
mm	g	g	g	%	%
11,3	1419,2	1781,8	362,6	34,2	65,8
8	1464,8	1550,5	85,7	8,1	57,7
6,3	1428,2	1583,4	155,2	14,6	43,1
4	1575,8	1759,9	184,1	17,4	25,7
2	1355,3	1483,4	128,1	12,1	13,6
Pohja	1724,5	1869,2	144,7	13,6	0
Yhteensä	8967,8	10028,2	1060,4	100	
Häviöt			22,7	0	

Kuivaa jätettä pienemmässä palakoossa seuloessa huomattiin, että jätejakeet käyttäytyvät arvellulla tavalla ja seuloutuminen on hyvällä tasolla. Muutenkin kuiva ja pienempään palakoon murskattu jäte alkoi muistuttaa ulkoisesti jo sahanpurua johtuen pienestä partikkeli-koosta. Tuoreen jätteen seulonnassa huomattiin, että seulakoneeseen syötettävän jätteen määrä tulisi olla alun perin pienempi, jotta seulonta alkaisi tehokkaammin. Hiukkaset muodostivat todennäköisesti kosteuden vaikutuksesta patjan, joka kokonaisuudessaan liikkui seulakoneen tärinän vaikutuksesta, eikä seulonta päässyt kunnolla alkamaan.



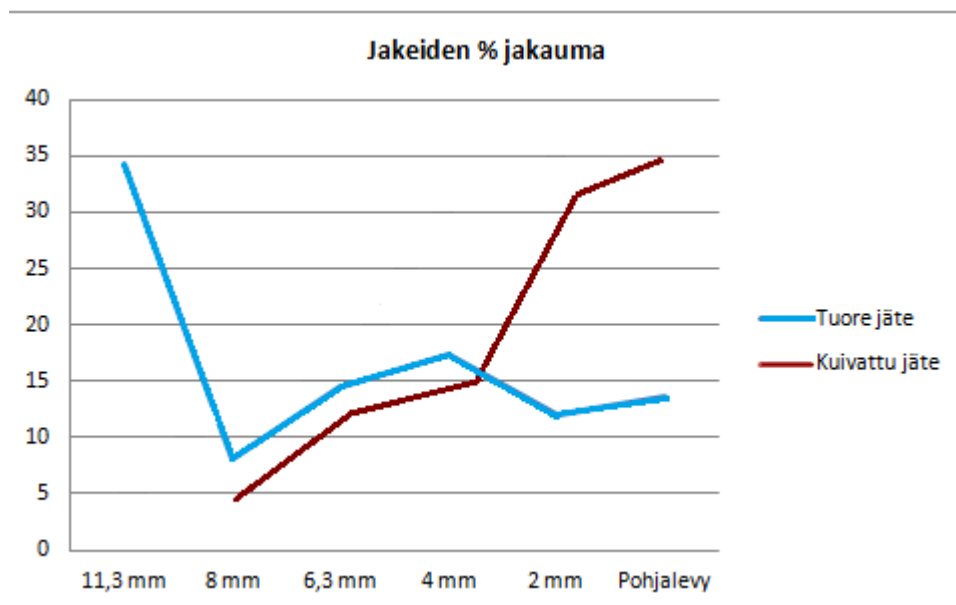
## 5.2 Muutokset verrattuna ensimmäiseen seulontaan

Puhtaus näytteiden välillä oli aivan eri tasolla kuin alun perin suoritettussa seulonnassa, joka lopulta päätettiin keskeyttää, koska siitä saaduilla tuloksilla ei olisi ollut mitään merkitystä ja niitä ei olisi pystynyt käyttämään vertailussa. Palakoon pienentämisen jälkeen pohjalle valunut osa seulottavasta näytteestä muodostui verraten suureksi, vaikka tässä seulonnassa oli lisätty reikäväliltään 2 mm:n kokoinen seulaverkko mukaan seulontaan. Kuvassa 22 on esitetty graafinen kuvaaja, josta ilmenee seuloille jäänyt jätemäärä raekoon funktiona. Kuvaajasta voidaan päätellä, että vaikka seulottava jäte oli tuoretta, niin pohjalle kertyneen hienoaineksen osuus on silti kohtalaisen suuri, mikä tarkoittaa sitä, että hienoaines on saatu irtautumaan seulonnassa. (Ks. kuva 24.)



Kuva 25. Seuloille jääneet ainemäärät raekoon funktiona.

Seuraavassa kuvassa 26 on esitetty kuivatun ja tuoreen jätteen erot seuloutuvuudessa. Kuvasta ilmenevät seuloille jääneet ainemäärät raekoon funktiona. Kuvaajasta voidaan havaita käyrää vertailemalla se, että tuore jäte jakaantuu prosentuaalisesti tasaisemmin eri reikäseuloille. Kuivan jakeen käyrää tarkasteltaessa on helppo huomata sen prosentuaalisen osuuden kasvavan, mitä lähemmäs pohjalevyä edetään. Tämä on selitettävissä siten, että hienoaines on saatu irtautumaan jättejakeista ja se on seuloutunut pohjalle.



Kuva 26. Tuoreen ja kuivatun jättejakeen seuloutuvuus esitettynä raakoon funktiona.

### 5.3 REF II-laatuvaatimusten täyttyminen

REF II-laatuvaatimusten täyttymistä on hyvin vaikea selvittää, koska jätteen sisältämien osasten tarkka selvittäminen ja sitä kautta niiden poltossa vapautuvat savukaasut tulisi saada suurin piirtein selville, ennen kuin tätä asiaa voisi selvittää laskemalla. Koepoltoissa kannattaakin hakea useita eri seossuhteita ja niiden tulosten pohjalta löytää sopivat seossuhteet sekoitettaville puuhakkeelle ja erikseen kerätylle energiajätteelle. Lienee kuitenkin selvää, että prosessin lopputuotteen eli murskatun sekajätteen puhtaampi olomuoto eli mekaaninen laatu on hyvin vaikuttava tekijä suunniteltaessa seostettavien ainemäärien suhteita. Puhtaampaan tuotteeseen ei näin ollen tarvitse sekoittaa niin paljon seosaineita, ja se mahdollistaa seosaineiden myymisen erikseen omina tuotteinaan suurempina erinä.

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

Insinööriyön suorittaminen antoi paljon uusia ideoita prosessin kehittämiseen ja lopputuotteen mekaanisen laadun parantamiselle. Tärkeimpänä on jätteen kosteuden merkitys seuloutuvuutta ajatellen. Kosteus vaikutti erittäin oleellisesti alkuperäisessä ja ensimmäisessä seulonnassa, jonka jälkeen päätettiin etsiä vaihtoehtoja, joiden avulla seuloutuvuus paranee. Todennäköisesti kosteuden suuri määrä varsinaisessa prosessissa merkitsee myös sitä, että sitoessaan kappaleita toisiinsa se tulee heikentämään prosessin saantoa. Tuuliseulan alitteessa tulee siten olemaan kohtalaisen paljon sellaista jätettä joka ei sinne kuulu, vaan se voitaisiin hyötykäyttää muualla.

Palakoon pienentäminen vaikutti myönteisesti jätejakeiden seuloutuvuuteen. Seuloutuvuus parani palakoon pienentämisen myötä, ja hienoaaines, joka sisälsi mm. lasia ym. pienmetalleja, saatiin seuloutumaan erilleen. Näistä jakeista on eniten haittaa ja ne aiheuttavat eniten ongelmia leijupetipolttoprosessissa, jonne kierrätyspolttoaineen on tarkoitus edetä. Jälkimurskan hankintaa prosessin yhteyteen kannattaa tutkia tarkemmin. Huomionarvoista oli sekin, että jos tulevaisuuden prosesseihin koskien kierrätyspolttoaineen valmistamista kokeiltaisiin perinteistä täryseulaa, niin siinä tulisi käyttää niin pientä syöttönopeutta, että jakeet kerkiäisivät irtaantua toisistaan. Silloin ne eivät liimaantuisi kiinni toisiinsa eräänlaiseksi ”patjaksi”, jolloin tehokas seulontuminen estyy.

Laadultaan paremman ja mekaanisesti puhtaamman kierrätyspolttoaineen palaminen olisi tällöin helpommin ennakoitavissa ja palaminen itsessään puhtaampaa. Näin voitaisiin ennakoida mahdollisia savukaasupäästöjä seuraavien polttoaine-erien osalta ja saavutettaisiin palamisprosessi, josta ilmakehään ja luontoon pääsisi vähemmän sille haitallisia aineita ja entsyymejä. Myös palamisessa syntyvän tuhkan laatu olisi parempi ja puhtaampi. Seosaineita tarvitaan vähemmän, ja ne voidaan myydä niitä tarvitseville tahoille erillisinä jakeina, jolloin saavutetaan myös taloudellista hyötyä.

Kierrätyspolttoainetta jonka valmistamiseen on käytetty sekajätettä, voitaneen tuskin säilyttää varastossa kovinkaan kauaa. Jätteessä oli havaittavissa kosteutta niin paljon, että mahdollinen varastokasan ”käyminen” on hyvin todennäköistä, jos polttoaine joutuu seisomaan varastossa ilman, että sitä käännellään. Syntypaikkalajittelun on siis tärkeää. Tätä tehostamalla saataisiin mahdollisesti kosteutta pienemmäksi, jolloin seuloutuvuus ja mahdollinen varastointi

helpottuisivat huomattavasti. Lisäksi murskattava sekajäte olisi jo murskaukseen tullessaan puhtaammalla asteella ja se vähentäisi mm. tarvittavien seosaineiden määrää ja laadun parantamiseksi tehtävä työskentely jäisi pois.

Työn suorittaminen sujui kohtuullisesti, ja tuloksia saatiin hyvin. Työn suorittamisen yhteydessä opittiin ymmärtämään jätejakeiden käyttäytymistä eri muodoissaan ja eri kohdissa prosessia. Näillä on suuri merkitys tulevaisuudessa, kun jatkokehittämistä mm. prosessissa käytettävien koneiden ja laitteiden osalta tehdään. Näin ollen vaihteluvälin pienentäminen prosessin eri kohdissa ja tuotteen laadussa on mahdollista.

Seuraavaksi tutkimukseen voisi ottaa mm. sen, mikä on järkevin tapa hyödyntää jätettä kustannustehokkaasti ja ovatko siitä saatavat hyödyt niin suuria, että sitä kannattaa tällä alueella tehdä. Samalla voisi myös pohtia, onko tällainen kierrättäminen ja resurssien ohjaaminen sekä käyttäminen tähän järjestelmään järkevää ja onko yleensä taloudellisesti kannattavaa tehdä tällaista työtä Kainuun alueella. Työllistäjänä tällä on kuitenkin kohtalaisen suuri vaikutus, välittömästi ja välillisesti eri muodoissaan.

Tulevaisuudessa tutkimus ja kehittämiskohteita voisivat olla mm. varsinaisen prosessin yhteydestä eri laitteiden ylitteistä ja alitteista otetut näytteet, ja tutkia mm. niiden puhtautta ja näin ollen yrittää parantaa lopullista saantoa prosessissa ja pienentää hukkaan menevän jakeen osuutta. Lisäksi tutkimuskohteita voisivat olla eri seulojen ylitteiden tarkemmat analyysit ja kierrätyspolttoaineen tehollisen lämpöarvon laskenta.



## 7 YHTEENVETO

Tätä insinööriötä tehdessä kierrätyspolttoaineen laadunmäärittäykseen käytetty standardi SFS 5785 on korvattu koko Euroopan yhteisellä CEN/TS 15359 standardilla, josta käy ilmi kierrätyspolttoaineiden tekniset spesifikaatiot. Uusi standardi poikkeaa aiemmasta mm. siten, että kierrätyspolttoaineiden laatuun vaikuttavia tekijöitä luetaan matriisina ja näin ollen laatumäärittäykset eroavat hieman. Kuitenkaan sillä ei tässä työssä ollut kovin suurta merkitystä, sillä tavoitteena ollut kierrätyspolttoaineen mekaanisen laadun parantaminen on molemmissa standardeissa suotavaa polttoaineen laatua parannettaessa.

Myös pääasiallinen polttopaikka on vaihtunut insinööriön suorittamisen aikana. Kainuun Voima Oy ei ole enää kierrätyspolttoaineen pääasiallinen vastaanottaja. Polttoperiaate ja tekniikat eivät muutu, vaan ne ovat leijupetipolttoa tarkasteltaessa yleisesti ottaen samanlaisia. Tosin laitoskohtaisia eroja voi esiintyä ja näin ollen mm. laatuvaatimukset kierrätyspolttoaineen ominaisuuksille voivat olla hieman erilaiset.

Insinööriön tavoitteet täyttyivät hyvin. Prosessin optimointiin saatiin ideoita, joilla voidaan tavoitella taloudellista hyötyä ja parempaa lopputuotteen laatua. Myös asiakassuhteiden parantaminen on laadukkaan polttoaineen johdosta mahdollista. Työssä esiintyvät ongelmat rajoittuivat viimeisten seulontojen aikana käytettyihin hieman liian suuriin aineääriin, joista kuitenkin saatiin tulokset ja huomattiin uusia asioita sekajätteen käyttäytymisessä seulonnan yhteydessä. Varsinaisen prosessin käynnistymisen myöhästymisen johdosta en päässyt vertailemaan mm. eri komponenttien vaihdosta seuranneita saannon muutoksia, vaan insinööriössä keskityinkin tarkemmin kierrätyspolttoaineen mekaanisen laadun parantamiseen.

Yhtenä tavoitteena ollut mahdollisimman suuri hyötykäyttöaste sekajätteen eri osasille jäi hieman taka-alalle. Kuitenkin mitä puhtaammaksi eri jakeet saadaan toisistaan, niin sitä helpompi niille on keksiä uusia käyttömahdollisuuksia. Näin ollen loppusijoitukseen menevän jätteen osuus tulee olemaan entistä pienempi.

## LÄHTEET

1. Kainuun jätehuollon kuntayhtymän, Eko-Kympin kotisivut. Tehtävät ja toiminta. [WWW -dokumentti] <<http://www.eko-kymppi.fi/index.php?id=124>>. (Luettu 29.12.2011)
2. Wikipedia. Kaatopaikka. Viimeksi muutettu 2.11.2011. [WWW -dokumentti] <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Kaatopaikka>>
3. Jätelaitosyhdistys, JLY. Säädökset. Aikajana. [WWW -dokumentti] <<http://www.jly.fi/aikajana.php?treeviewid=tree4&nodeid=3>>. (Luettu 2.1.2012)
4. Finlex. Lainsäädäntö. Säädökset alkuperäisinä. 861/1997. [WWW -dokumentti] <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1997/19970861>>. (Luettu 2.1.2012.)
5. Vesanto Petri. Jätteenpolton BREF 2006. [WWW -dokumentti] <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=54918>>. (Luettu 9.1.2012)
6. Motiva. Bioenergia ja puun polttotekniikat. Viimeksi muutettu 20.4.2011. [WWW -dokumentti] <[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/puuenergia/met sapolttoaineet/puun\\_polttotekniikat](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/puuenergia/met sapolttoaineet/puun_polttotekniikat)>
7. TANA. Tuotteet. Jätteenrepijät. [WWW -dokumentti] <<http://www.tana.fi/fi/tuotteet/jatteenrepijat/>> (Luettu 10.1.2012)
8. Juusola Markus. Savonia AMK. Opinnäytetyö. Kuopion jätokeskuksen jäteperäisen kierrätyspolttoaineen laatu ja hyödyntämisselvitys. [WWW -dokumentti] <[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/29114/juusola\\_markus.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/29114/juusola_markus.pdf?sequence=1)> (Luettu 10.1.2012)

9. Ympäristö. Kansallinen strategia biohajoavan jätteen kaatopaikkakäsittelyn vähentämiseksi. s, 2. [WWW -dokumentti]  
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=27161&lan=fi> (Luettu 10.1.2012)
10. Kainuun jätehuollon kuntayhtymä. Tarjouspyyntö sekajätteen käsittelystä. (Luettu 17.1.2012)
11. Petri Vesanto, Matti Hiltunen, Antero Moilanen, Tommi Kaartinen, Jutta Laine-Ylijoki, Kai Sipilä & Carl Wilén. VTT. Tiedotteita 2416. Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö. [WWW -dokumentti]  
<<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2416.pdf>> (Luettu 17.1.2012)
12. Kainuun Voima Oy. Energiantuotanto. [WWW -dokumentti].  
<<http://www.kainuunvoima.fi/energia.html>> (Luettu 17.1.2012)
13. Laamanen Kai. Johda liiketoimintaa prosessien verkkona, ideasta käytäntöön. Laatu-keskus, 2005.
14. Ristikaarto Pekka. Tuotantoprosessit ja logistiikka –kurssin kurssimateriaali. Kajaanin ammattikorkeakoulu.
15. Suomen kielen perussanakirja. Toinen osa L-R. Helsinki: Kotimaisten kielten tutkimuskeskus, 1992. ISBN 951-37-0503-X.
16. HILMA. Jälki-ilmoitus. Kainuun jätehuollon kuntayhtymä. Seka- ja energiajätteen käsittely. [WWW -dokumentti]  
<<http://www.hankintailmoitukset.fi/fi/notice/view/2012-033985/>> (Luettu 17.1.2012)
17. Tampio Elina. Selvitys yhdyskuntajätteen biohajoavuudesta ja koostumuksesta Kainuussa kesällä 2010. Kainuun ELY-keskus.

18. Kainuun jätehuollon kuntayhtymän, Eko-Kympin kotisivut. Majasaaren jätekeskus.  
[WWW-dokumentti] < <http://www.eko-kympin.fi/index.php?id=27> > (Luettu 19.1.2012)
19. Suomen standardisoimisliitto SFS. Standardi SFS 5875. Jätteen jalostaminen kiinteäksi polttoaineeksi. Laadunvalvontajärjestelmä.

## LITTEET

Standardin SFS 5875 määrittelemät arvot kierrätyspolttoaineen sisältämille kuiva-aine pitoisuuksille löytyvät alla olevasta taulukosta.

Kohta	Ominaisuus	Yksikkö	Ilmoitustarkkuus	LAATULUOKITUS			Raja-arvon kohdistuminen
				I	II	III	
1	Klooripitoisuus kuiva-aineessa	m-%(2)	0,01	<0,15	<0,50	<1,50	(6)
2	Rikkipitoisuus kuiva-aineessa	m-%(2)	0,01	<0,20	<0,30	<0,50	(6)
3	Typpipitoisuus kuiva-aineessa	m-%(2)	0,01	<1,00	<1,50	<2,50	(6)
4	Kalium- ja natriumpitoisuus kuiva-aineessa(1)	m-%(2)	0,01	<0,20	<0,40	<0,50	(6)
5	Alumiinipitoisuus kuiva-aineessa(metallinen)	m-%(2)	0,01	(3)	(4)	(5)	(6)
6	Elohopea pitoisuus kuiva-aineessa	mg/kg	0,1	<0,1	<0,2	<0,5	(6)
7	Kadmiumpitoisuus kuiva-aineessa	mg/kg	0,1	<1,0	<4,0	<5,0	(6)

(1) yhteenlaskettu (K+Na) vesiliukoisen ja ionivaihtuvan osan pitoisuus kuiva-aineessa.

(2) m-% tarkoittaa massan osuutta prosentteina

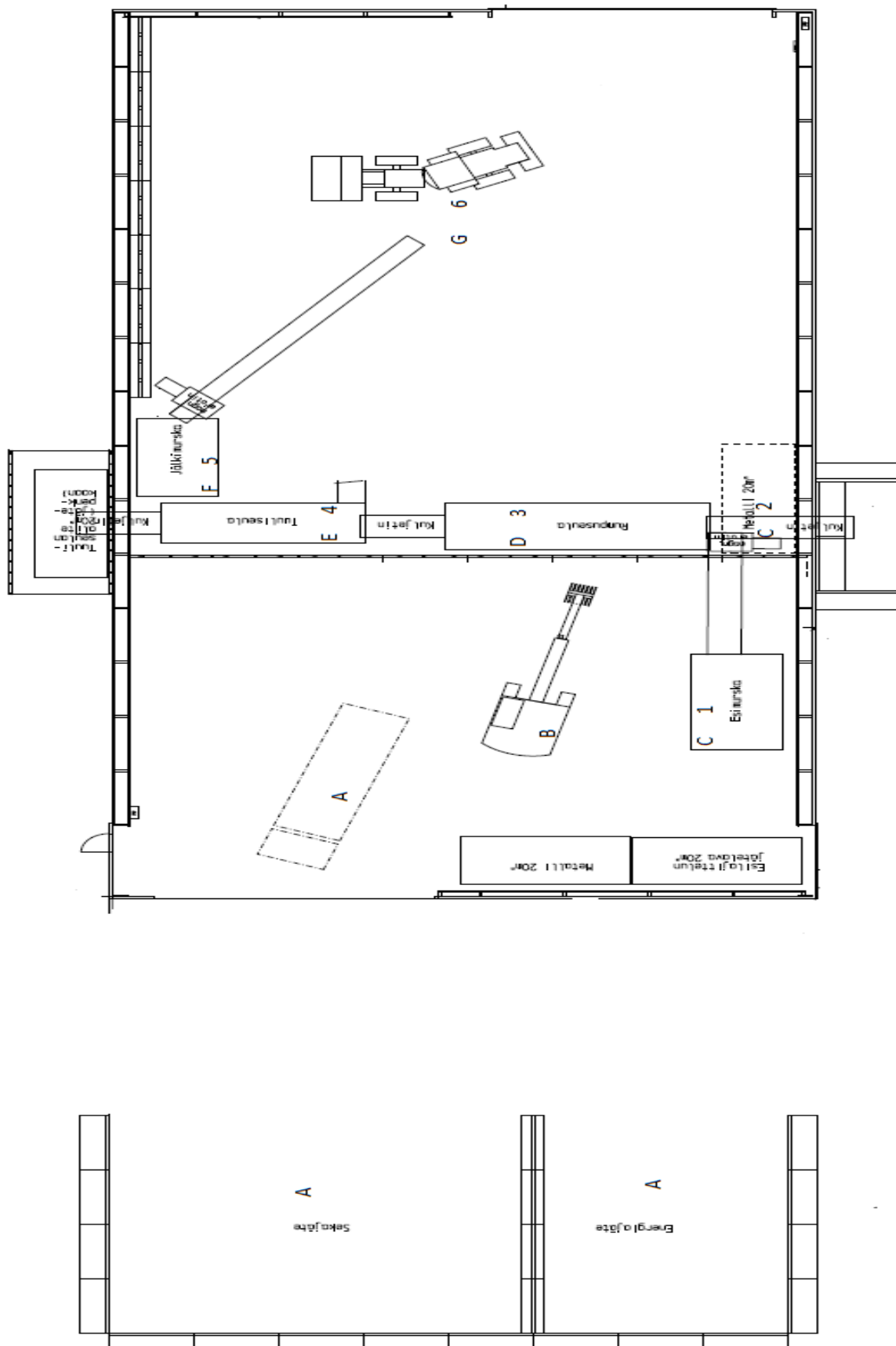
(3) metallista alumiinia ei sallita, mutta se on hyväksyttävissä ilmoitustarkkuuden rajoissa

(4) syntypaikkalajittelulla ja polttoaineen valmistusprosessilla pyritään poistamaan metallinen alumiini

(5) metallinen alumiinipitoisuus sovitaan erikseen

Raja-arvo kohdistuu enintään 1000 m<sup>3</sup>:n tai yhden kuukauden aikana valmistettuun tai toimitettuun polttoainemäärään ja tulee verifioida vähintään vastaavalla tiheydellä.

Alla hallin pohjapiirustus alustavine koneineen ja laitteineen.



Tarkemmat mittaustulokset näytteen 1 kuivaamisesta on esitetty alla. Kuivaukseen päädyttiin, koska ensimmäistä seulontaa tehdessämme huomasimme, että tuore jäte on erittäin huonoa seuloutumaan.

Painot on esitetty grammoina

		kpl	
matala vuoka	11,1	4	44,4
korkea vuoka	18,8	2	37,6
		6	82

tunnit	vuoka 1	vuoka 2	vuoka3	vuoka 4	vuoka 5	vuoka 6	yhteensä
0	203,5	275,1	195,8	214	193,7	172	1254,1
1	190,9	265	184,2	197,4	170,9	154,2	1163,6
2	179,8	253,5	170,6	178,9	150,2	135,6	1070,6
4	157,8	238,2	146,2	152,1	124,2	113	935,5
6	141	229,9	129,2	133,6	111,7	102,4	853,8
23	117,4	227,4	86,4	112,9	103,4	93,6	764,1

**Alkupaino 1249,1g**

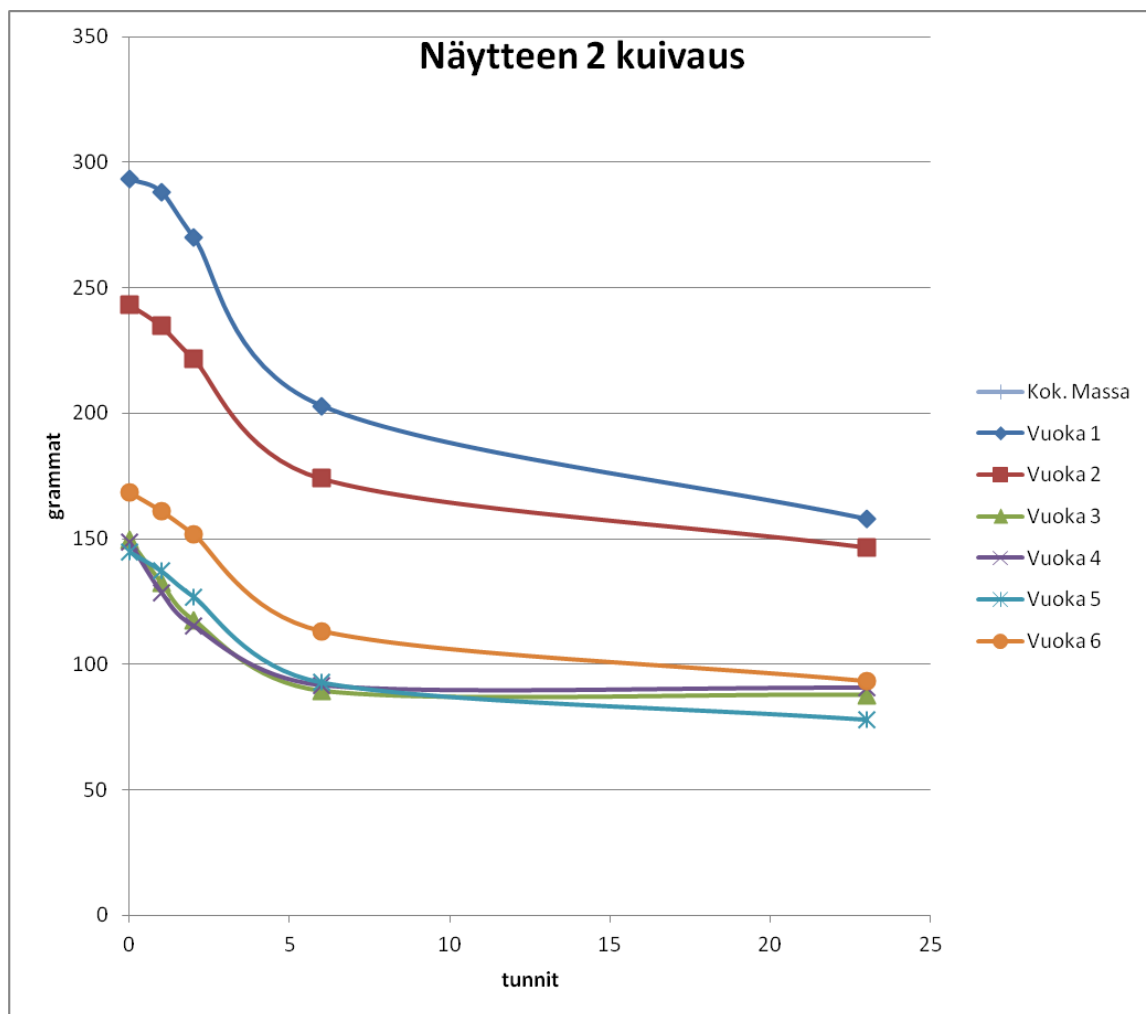
**Loppupaino jäte+pussi=752,4g**

"hävikki"  $764,1-752,4=11,7\text{g}$

Huom. Vuoassa nro 2 oli metalliputki, josta suuremman painon voidaan katsoa johtuneen.



Näytteen 2 kuivauksen yhteydessä tapahtuneet painonmuutokset ajan funktiona. Kuvaaja on toteutettu samaan tapaan ja samoja laitteita sekä asetuksia käyttäen kuin kuvassa 9 oleva näytteen 1 kuivaus.



tunnit	vuoka 1	vuoka 2	vuoka 3	vuoka 4	vuoka 5	vuoka 6
0	293,4	243,4	149,8	148,5	144,8	168,6
1	288,2	234,7	132,5	128,4	137,1	161
2	270,1	221,7	117,7	115,1	126,9	151,8
6	202,9	174	89,4	91,5	92,7	113,2
23	157,8	146,6	87,8	90,5	77,9	93,2

Yllä olevassa taulukossa esitetyt painonmuutokset on kuvattu grammoina.

